



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## AQUAPARK VE ZNOJMĚ

AQUAPARK IN ZNOJMO

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK ANDREJ

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## A – PRŮVODNÍ DOKUMENT

A – ACCOMPANYING REPORT

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

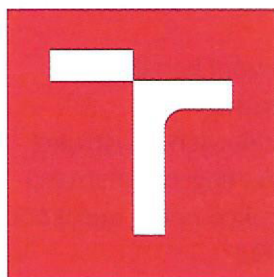
PATRIK ANDREJ

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Patrik Andrej
Název	Aquapark ve Znojmě
Vedoucí práce	Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990- Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991- Zatížení konstrukcí
- [3] ČSN EN 1993- Navrhování ocelových konstrukcí
- [4] ČSN EN 1995- Navrhování dřevěných konstrukcí
- [5] Koželouh B.: Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 - Step 1 Navrhování a konstrukční materiály, Bohumil Koželouh 1998
- [6] Melcher J., Straka B.: Kovové konstrukce- Konstrukce průmyslových budov, SNTL Praha 1985

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné konstrukce budovy aquaparku ve Znojmě. Minimální půdorysné rozměry budovy jsou stanoveny na 20x50 m. Minimální světlá výška ve vrcholu konstrukce 8 m. Tvar konstrukce volte s ohledem na architektonické požadavky související s účelem stavby. Pro nosnou konstrukci zvolte ocel řady S235 nebo S355.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



---

Ing. Jan Barnat, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

**Vedoucí práce** Ing. Jan Barnat, Ph.D.

**Autor práce** Patrik Andrej

**Škola** Vysoké učení technické v Brně

**Fakulta** Stavební

**Ústav** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství

**Název práce** Aquapark ve Znojmě

**Název práce** Aquapark in Znojmo

**v anglickém  
jazyce**

**Typ práce** Bakalářská práce

**Přidělovaný titul** Bc.

**Jazyk práce** Slovenčina

**Datový formát  
elektronické  
verze** PDF

**Abstrakt práce** Predmetom bakalárskej práce je návrh a posúdenie oceľovej konštrukcie aquaparku v meste Znojmo. Dispozičné riešenie zohľadňuje požiadavky umiestnenia stavby. Objekt má obdĺžnikový pôdorys o rozmeroch 24,0 x 50,0 m a výška vo vrchole je 11,0 m. Nosná časť objektu je tvorená sústavou oblúkových priehradových väzníkov, ktoré sú kĺbovo uložené na votknutých stĺpoch. Vzďialenosť priečných väzieb je 5,0 m. Priestorová tuhosť konštrukcie je zaistená sústavou stužidiel. Práca obsahuje statický posudok hlavných nosných prvkov vrátane spojov. Strešný a obvodový plášť je tvorený sendvičovými panelmi.

**Abstrakt práce  
v anglickém  
jazyce** The subject of the bachelor thesis is a design and an assessment of the steel structure aquapark in the city Znojmo. Disposition of the structure respects the requirements for building location. The main supporting structure consists of arched trusses, which are hinged connected with the fixed columns. Distance between cross links is 5,0 m. Structure stability ensures system of bracings. Structural design report contains of assessment the main load-bearing elements and joints. The roofing and exterior building envelope consists of sandwich panels.

**Klíčová slova** Aquapark, oceľová konštrukcia, oblúkový priehradový väzník, stužidlá, votknutý stĺp

**Klíčová slova  
v anglickém  
jazyce** Aquapark, steel structure, arched truss, bracings, fixed column

## **ABSTRAKT**

Predmetom bakalárskej práce je návrh a posúdenie ocelevej konštrukcie aquaparku v meste Znojmo. Dispozičné riešenie zohľadňuje požiadavky umiestnenia stavby. Objekt má obdĺžnikový pôdorys o rozmeroch 24,0 x 50,0 m a výška vo vrchole je 11,0 m. Nosná časť objektu je tvorená sústavou oblúkových priehradových väzníkov, ktoré sú kĺbovo uložené na votknutých stĺpoch. Vzďialenosť priečných väzieb je 5,0 m. Priestorová tuhosť konštrukcie je zaistená sústavou stužidiel. Práca obsahuje statický posudok hlavných nosných prvkov vrátane spojov. Strešný a obvodový plášť je tvorený sendvičovými panelmi.

## **ABSTRACT**

The subject of the bachelor thesis is a design and an assessment of the steel structure aquapark in the city Znojmo. Disposition of the structure respects the requirements for building location. The main supporting structure consists of arched trusses, which are hinged connected with the fixed columns. Distance between cross links is 5,0 m. Structure stability ensures system of bracings. Structural design report contains of assessment the main load-bearing elements and joints. The roofing and exterior building envelope consists of sandwich panels.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Aquapark, oceleová konštrukcia, oblúkový priehradový väzník, stužidlá, votknutý stĺp

## **KEYWORDS**

Aquapark, steel structure, arched truss, bracings, fixed column

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Patrik Andrej *Aquapark ve Znojmě*. Brno, 2018. 68 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2018

---

Patrik Andrej  
autor práce



# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2018

---

Patrik Andrej  
autor práce

## **Pod'akovanie**

Chcel by som pod'akovať vedúcemu mojej bakalárskej práce, pánovi Ing. Janovi Barnatovi, Ph.D., za cenné rady, pripomienky a čas venovaný pri konzultáciách. V neposlednom rade ďakujem mojej rodine, priateľke a známym, ktorí ma podporovali pri písaní bakalárskej práce.

Patrik Andrej

## **Zoznam použitej literatúry:**

### **Normatívne dokumenty**

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicku
- [7] ČSN EN 10027-1 Systémy označování ocelí – Část 1: Stavba značek ocelí

### **Literatura**

- [8] Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc. – Ocelové konstrukce – Normy
- [9] prof. Ing. HOLICKÝ, M. DrSc., doc. Ing. MARKOVÁ, J. Ph.D., Ing. SÝKORA, M. Ph.D. Zatížení stavebních konstrukcí. Příručka k SN EN 1991, Praha: KAIT, s.r.o., 2009, p.184

### **Internetové stránky**

- [10] <https://online.ferona.cz/>
- [11] Kingspan, Česká republika. Dostupné z: <http://www.kingspan.cz/>
- [11] Hilti, Česká republika. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>

## **Obsah práce**

### **A – Průvodní dokument**

1. Titulní list
2. Zadání VŠKP
3. Popisný soubor závěrečné práce
4. Abstrakt a klíčové slova
5. Bibliografická citace
6. Prohlášení o původnosti VŠKP
7. Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy
8. Poďakovanie
9. Zoznam použitej literatúry
10. Obsah práce

### **B – Technická správa**

### **C – Statický výpočet**

### **D – Programový výstup**

### **E – Výkresová dokumentácia**

1. Dispozícia konštrukcie
2. Detaily
3. Plán kotvenia



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## B – TECHNICKÁ ZPRÁVA

B – TECHNICAL REPORT

## BAKALÁŘSKA PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK ANDREJ

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2018

## OBSAH

1	Obecné údaje .....	1
2	Normatívne dokumenty .....	1
3	Materiál.....	1
4	Predpoklady návrhu nosnej konštrukcie.....	1
5	Zaťaženie.....	1
5.1	Stále zaťaženie .....	2
5.2	Premenné zaťaženie .....	2
6	Popis konštrukčného riešenia .....	2
6.1	Stĺpy .....	2
6.2	Priehradový väzník .....	3
6.3	Väznice .....	3
6.4	Paždíky.....	3
6.5	Priečne stužidlá .....	4
6.6	Pozdĺžne stužidlo .....	4
6.7	Opláštenie .....	4
6.8	Základy a kotvenie .....	4
7	Povrchová úprava konštrukce.....	5
8	Montáž.....	5
9	Výkaz materiálu.....	6

## **1 Obecné údaje**

Cieľom bakalárskej práce je návrh a posúdenie ocelevej konštrukcie aquaparku v lokalite mesta Znojmo. Statická analýza priestorového modelu bola vytvorená v programe Scia Engineer. Jedná sa o halu s obdĺžnikovým pôdorysom s rozmermi 24 x 50 m. Svetlá výška konštrukcie je 8 m a konštrukčná výška 11 m. Hlavnú nosnú časť tvorí priečna väzba tvorená oblúkovým priehradovým väzníkom, ktorý je klbovo uložený na vetknutých stĺpoch.

## **2 Normatívne dokumenty**

ČSN EN 1990, Eurokód – Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991, Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1993, Eurokód 3 – Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN 01 3483, Výkresy kovových konstrukcí

## **3 Materiál**

Celkový materiál použitý na nosnú konštrukciu vrátane všetkých spojov, plechov je ocel S235JR. Spojovací materiál jednotlivých častí je pevnostnej triedy 5.8, ak nie je uvedené inak. Nosná konštrukcia je vyrobená z ocele tvarovanej za studena.

## **4 Predpoklady návrhu nosnej konštrukcie**

Statické posúdenie konštrukcie bolo spočítané podľa ČSN EN 1993. Objekt bol navrhnutý na medzný stav únosnosti na najnepriaznivejšiu kombináciu návrhových hodnôt zaťaženia s uvažovaním vplyvu straty stability. Medzný stav použiteľnosti vychádzal z najnepriaznivejšej hodnoty deformácie z charakteristických hodnôt zaťaženia.

## **5 Zaťaženie**

Nosná oceľová konštrukcia bola dimenzovaná na nasledujúce zaťaženia.

## 5.1 Stále zat'azenie

Vlastná tiaž konštrukcie bola automaticky vygenerovaná programom Scia Engineer.

Strešný plášť:  $g_k = 0,1235 \text{ kg/m}^2$

## 5.2 Premenné zat'azenie

Klimatické zat'azenie snehom so snehovou oblasťou I a charakteristickou hodnotou zat'azenia  $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ .

Klimatické zat'azenie vetrom s veternou oblasťou III a základnou rýchlosťou vetra  $v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$ .

Osamelé bremeno s hodnotou 1 kN.

## 6 Popis konštrukčného riešenia

Priečne väzby halového systému sú medzi modulovými osami 1 – 2 po vzdialenostiach 5 m. V pozdĺžnom smere sú spojené väznicami, paždikami a sústavou stužidiel. Tuhosť konštrukcie v priečnom smere zabezpečujú vetknuté stĺpy do základov a v pozdĺžnom smere priečne stužidlá umiestnené v krajných poliach spoločne s pozdĺžnymi stužidlami, ktoré sú v 1/2 rozpätia haly. Priečna väzba je tvorená priehradovým väznikom s oblúkovým horným pásom a vodorovným dolným pásom, vyrobené z trubkových profilov. Rozpätia väznikov sú 24 m medzi modulovými osami A - G, 21 m v modulej osi H a 18 m medzi modulovými osami CH – J , ktoré sú kĺbovo uložené na vetknutých stĺpoch HEA240. Čelné stĺpy haly sú kĺbovo uložené a postupne prechádzajú až k hornému pásu väznika. Sú z profilu HEA200.

### 6.1 Stĺpy

V konštrukcii sa nachádzajú dva druhy nosných stĺpov. Krajné stĺpy sú z profilu HEA 240, sú privarené na pätný plech tl.40 mm, ktorý je ukotvený do základových pätiiek pomocou kotevných skrutiek 4 x Ø 24. Na prenos posúvajúcej sily je použitý úpalok z profilu UPE 100 o dl. 100 mm. Výška stĺpov je 8 m medzi modulovými osami A – G a v ustupujúcej časti 10,25 m medzi modulovými osami H - J. Uloženie stĺpov je vetknuté v priečnom smere a kĺbovo v pozdĺžnom smere.



Čelné stĺpy sú z profilu HEA 200. Päta stĺpu je privarená k pätnému plechu tl. 40 mm a ukotvená do základovej pätky lepenými kotvami HILTI Ø 24 pomocou vysoko únosnej lepiacej hmoty HIT – HY 150 MAX. Na prenos posúvajúcej sily je použitý úpalok z profilu UPE 100 o dl. 100 mm.

## **6.2 Priehradový väzník**

Strešná nosná konštrukcia pozostáva z 3 väzníkov rôzneho rozpätia. Väzník s rozpätím 24 m sa nachádza medzi osami A - G, väzníky s rozpätím 21 m v ose H a 18 m medzi osami CH – J. Väzník je tvorený kruhovými trubkami, ktoré sú v styčníkoch zvarené kútovými zvarmi. Horný pás je z profilu TO Ø 152,4 x 5, dolný pás Ø 133x 6,3, diagonály Ø 73 x 7,1 a zvislice Ø 70 x 5,6. Horný pás je namáhaný prevažne tlakom, dolný pás je namáhaný ťahom, len pri saní vetra je namáhaný tlakom. Proti vybočeniu z roviny je dolný pás zabezpečený pozdĺžnym stužidlom v 1/2 rozpätia. U väzníka s rozpätím 21 m a 18 m je umožnený vodorovný posun dolného pásu. Väzník je vyrobený z dvoch montážnych častí, ktoré budú spojené skrutkami u horného pasu 2 x M12 pevnostnej triedy 5.8 a u dolného pásu 6 x M16 pevnostnej triedy 5.8.

## **6.3 Väznice**

Väznice sú navrhnuté z profilu IPE 240, ktoré sú uložené na hornom páse väzníka ako prosté nosníky s dĺžkou 5 m. Pripojenie väzníc je riešené priskrutkovaním k uholníku L 140 x 140 x 10 pomocou skrutiek 2 x M12 5.8 a privarením k hornému pasu väzníka.

## **6.4 Paždíky**

Na konštrukcii sa nachádzajú 2 druhy paždíka IPE 160, IPE 180, ktoré sú kĺbovo uložené v oboch smeroch. Paždík z profilu IPE 180 je použitý v krajných poliach modulové osy A – B a I - J, pre vhodnejšie pripojenie stenového stužidla. Paždíky IPE 160 sú použité na zvyšok konštrukcie. Oba sú pripojené k privarenému plechu tl. 5 mm pomocou skrutiek 2 x M12 5.8.

## **6.5 Priečne stužidlá**

Stužidlá sú konštruované na prenos ťahovej aj tlakovej sily. Sú navrhnuté z trubkového profilu  $\text{Ø } 60,3 \times 7,1$ . Stužidlá sú pripojené na privarený plech tl. 5 mm prostredníctvom skrutiek 2 x M16 5.8.

## **6.6 Pozdĺžne stužidlo**

Pozdĺžne stužidlo sa nachádza v 1/2 rozpätia priečnej väzby. Je navrhnuté z trubkových profilov  $\text{Ø } 70 \times 8,8$ . Pri napojení na čelné stĺpy je umožnený vodorovný posun dolného pásu stužidla.

## **6.7 Opláštenie**

Na strešný plášť sú použité strešné izolačné panely Kingspan KS1000 TOP-DEK 100. Panely sú kladené v smere priečnej väzby a konštrukčne spojené s väznicami. Obvodový plášť je tvorený zo stenových izolačných panelov Kingspan KS1000, konštrukčne pripojených na paždíky.

## **6.8 Základy a kotvenie**

Krajné stĺpy konštrukcie sú vetknuté do základovej pätky. Pätky sú zhotovené z betonu C16/20. Kotvenie stĺpov je prevedené pomocou privarenej pätnej dosky tl. 40 mm a štyroch skrutiek  $\text{Ø } 24$  mm pevnostnej triedy 8.8. Čelné stĺpy haly sú kĺbovo uložené do základovej pätky. Pätky sú z betonu C16/20. Kĺbové ukotvenie je prevedené pomocou dvoch kotvených skrutiek HILTI  $\text{Ø } 24$  5.8, ktoré sú vlepené do predvrtaných otvorov v základovej pätky pomocou vysoko únosnej lepiacej hmoty HIT – HY 150 MAX. Všetky vrtane otvory sú zväčšené o 20 mm na každú stranu. U všetkých stĺpov je navrhnuté podliatie cementovou maltou tl. 40 mm s pevnosťou o triedu vyššiu ako je pevnosť betonu základovej pätky. Na prenos posúvajúcej sily je navrhnutý úpalok z profilu UPE 100 dl. 100 mm.

## **7 Povrchová úprava konštrukcie**

Všetky oceľové prvky musia byť ošetrené protikoróznym náterom Sika Poxicolor v súlade s platnou normou. Protipožiarná ochrana je riešená podľa požiadaviek požiarnej správy. Po dokončení montáže je nutné skontrolovať poškodenie náteru a následne ho opraviť.

## **8 Montáž**

Trieda provádění je stanovená na EXC2. Montáž je možná z oboch koncov zároveň. Po dokončení výkopových prác a vybetonovania základových pätiiek sa začína montážou stĺpov v krajných poliach s montážou paždíkov a stenových stužidiel. Osadenie stĺpov sa vykoná pomocou zdvíhacej techniky. Stĺpy sa upevnia na predom zabetonované kotvy, prebehne korekcia stĺpu s následným podliatím cementovou maltou tl 40 mm. Na pracovnej ploche sa spoja pomocou čelných dosiek častí priehradového väzníka. Nasleduje osadenie väzníka na krajné stĺpy spoločne so strešnými stužidlami. Pripojenie väzníc na väzníky a montáž ďalších zbývajúcich väzieb rovnakým postupom. Na záver sa ukotvia čelné stĺpy, na ktoré sa upevnia paždíky a v hornej časti sa pripevní už iba horný pás väzníka. Zhotovenie vrtných otvorov v základovej päťke s Ø 64 mm, vyplnenie otvoru vysoko únosnou lepiacou hmotou HIT – HY 150 MAX a vloženie kotiev HILTI Ø 24 5.8. Prebehne korekcia stĺpu s následným podliatím cementovou maltou tl 40 mm.

## 9 Výkaz materiálu

Jméno	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
Celkový součet :	54136,2	1441,999	6,8963e+00

Vysvětlivky symbolů	
Povrch	Pozn.: pro výpočet plochy povrchu se uvažuje pouze jeden povrch každého 2D dílce

Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
Hlavný stlp - HEA240	S 235	60,3	184,211	11105,7	252,369	7850,0	1,4147e+00
Štítový stlp - HEA200	S 235	42,2	124,221	5246,2	141,612	7850,0	6,6831e-01
Horný pás - RO152.4X5	S 235	18,2	252,102	4591,3	120,505	7850,0	5,8488e-01
Dolný pás - RO133X6.3	S 235	19,7	201,000	3960,4	84,018	7850,0	5,0451e-01
Zvislice - RO70X5.6	S 235	8,9	134,742	1195,2	29,560	7850,0	1,5226e-01
Diagonála - RO70X8.8	S 235	13,3	196,523	2607,2	43,113	7850,0	3,3212e-01
Vážnice - IPE240	S 235	30,7	426,891	13102,8	393,478	7850,0	1,6691e+00
Stenové stužidlo - RO60.3X7.1	S 235	9,3	94,470	882,5	17,853	7850,0	1,1242e-01
Pozdĺžne stužidlo - RO70X8.8	S 235	13,3	128,102	1699,5	28,103	7850,0	2,1649e-01
Střešné stužidlo - RO60.3X8	S 235	10,3	219,204	2254,2	41,425	7850,0	2,8716e-01
Paždík 1 - IPE160	S 235	15,8	358,493	5656,5	223,153	7850,0	7,2057e-01
Paždík 2 - IPE180	S 235	18,8	94,384	1770,8	65,868	7850,0	2,2558e-01
Diagonála 2 - RO73X10	S 235	15,5	4,119	64,0	0,942	7850,0	8,1563e-03



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## C – STATICKÝ VÝPOČET

STRUCTURAL ANALYSIS

### BAKALÁŘSKA PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK ANDREJ

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2018

# OBSAH

1	Popis konštrukcie.....	1
2	Geometria .....	2
3	Výpočtový model .....	4
4	Zaťaženie konštrukcie .....	5
4.1	Zaťaženie stále.....	5
4.1.1	ZS1 Vlastná tiaž .....	5
4.1.2	ZS2 Strešný plášť .....	5
4.1.3	ZS3 TZB .....	6
4.2	Zaťaženie premenné.....	6
4.2.1	ZS9 Sneh plný .....	6
4.2.2	ZS4 Sneh naviaty vľavo .....	8
4.2.3	ZS5 Sneh naviaty vpravo.....	9
4.2.4	ZS6 Pozdĺžny vietor .....	10
4.2.5	ZS7 Priečny vietor .....	15
4.2.6	ZS8 Osamelé bremeno.....	19
4.3	Kombinácie zaťaženia .....	20
5	Vnútorne sily .....	21
5.1	Kontrola výsledkov .....	21
6	Medzný stav únosnosti .....	22
6.1	Horný pás.....	22
6.1.1	Materiálové a prierezové charakteristiky .....	22
6.1.2	Vnútorne sily .....	23
6.1.3	Posudok na tlak.....	23
6.1.4	Posudok ohybového momentu .....	23
6.1.5	Posudok rovinného vzperu .....	23
6.1.6	Posudok ohybu a osového tlaku .....	24
6.2	Dolný pás .....	25
6.2.1	Materiálové a prierezové charakteristiky .....	25

6.2.2	Vnútorne sily .....	26
6.2.3	Posudok na ťah .....	26
6.2.4	Posudok rovinného vzperu .....	26
6.2.5	Posudok ohybu a osového tlaku .....	27
6.3	Väznica .....	29
6.3.1	Materiálové a prierezové charakteristiky .....	29
6.3.2	Vnútorne sily .....	30
6.3.3	Posudok na ohyb.....	30
6.3.4	Posudok klopenia.....	30
6.4	Hlavný stĺp .....	31
6.4.1	Materiálové a prierezové charakteristiky .....	31
6.4.2	Vnútorne sily .....	32
6.4.3	Posudok na ohyb.....	32
6.4.4	Posudok na smyk .....	32
6.4.5	Posudok klopenia.....	33
6.5	Strešné stužidlo .....	34
6.5.1	Materiálové a prierezové charakteristiky .....	34
6.5.2	Vnútorne sily .....	35
6.5.3	Posudok rovinného vzperu .....	35
6.5.4	Posudok ohybu a osového tlaku .....	36
7	Medzný stav použiteľnosti .....	37
7.1	Väznica .....	37
7.2	Väzník.....	38
7.3	Hlavné stĺpy .....	38
7.4	Paždíky.....	39
7.5	Strešné stužidlo .....	40
7.6	Čelné stĺpy .....	40
8	Detaily .....	41

8.1	Detail A.....	41
8.1.1	Pripojenie paždíka na stĺp.....	42
8.1.2	Pripojenie stužidla na stĺp.....	43
8.1.3	Pripojenie stužidla na paždík.....	44
8.2	Detail B.....	45
8.2.1	Uloženie väznice na väzník.....	45
8.2.2	Uloženie väzníka na stĺp.....	46
8.3	Detail C.....	47
8.3.1	Pripojenie diagonál a zvislice k hornému pásu.....	47
8.3.2	Montážny spoj horného pásu.....	51
8.3.3	Montážny spoj dolného pásu.....	52
9	Kotvenie stĺpu.....	55
9.1	Návrhová únosnosť ťahanej časti.....	56
9.1.1	Únosnosť konzoly pätného plechu s dvoma skrutkami.....	56
9.1.2	Únosnosť dvoch kotviacich skrutiek M24.....	56
9.2	Tlačená časť pätky.....	56
9.2.1	Návrhová pevnosť betonu.....	57
9.2.2	Určenie efektívnej plochy pätky.....	57
9.2.3	Momentová únosnosť pätky stĺpu.....	57
9.2.4	Návrhová únosnosť tlačenej pätky.....	57
9.2.5	Posudok pätného plechu na tlakové namahanie.....	58
9.2.6	Prenos posúvajúcej sily.....	58
9.2.7	Posúdenie kotviacich skrutiek 4x Ø24 8.8.....	58
9.2.8	Posudok zvaru dosky a stĺpu.....	59
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	60
	ZOZNAM TABULIEK.....	62

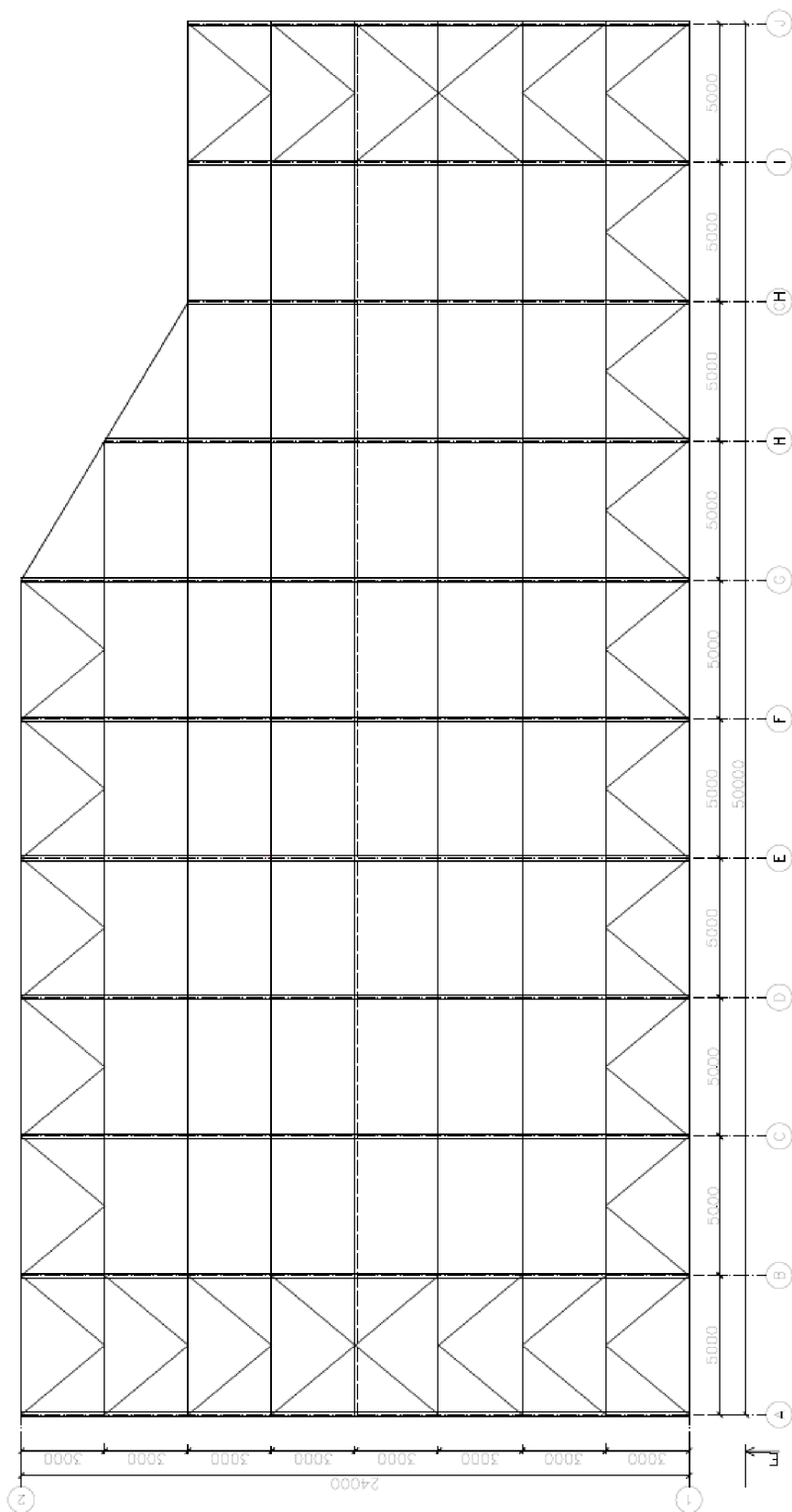


# 1 Popis konštrukcie

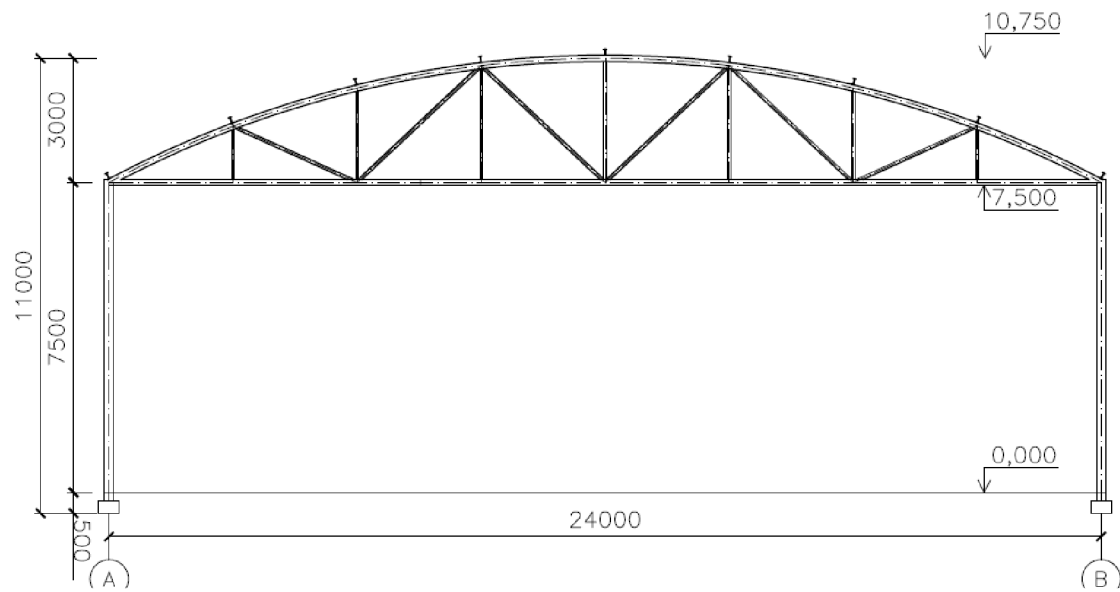
Práca sa zaoberá návrhom a posúdením nosnej oceľovej konštrukcie aquaparku v lokalite mesta Znojmo. Základné pôdorysné rozmery objektu sú 24x50 m. Priečne väzby sú po vzdialenostiach 5 m, ktoré sú spojené v pozdĺžnom smere väznicami, stužidlami a pažďíkmi. Priestorová tuhosť konštrukcie je zaistená priečnymi a pozdĺžnymi stužidlami.

Priečna väzba je tvorená priehradovým väznikom s oblúkovým horným pasom a vodovorným dolným pasom. Rozpetia väzníkov sú 24 m, 21 m, 18 m, ktoré sú kĺbovo uložené na vetknutých stĺpoch. Plnostenne stĺpy výšky 8 m sú vetknuté v priečnom smere a kĺbovo uložené v pozdĺžnom smere. Opláštenie strechy a stien je zhotovená pomocou sendvičových panelov od spoločnosti Kingspan. Pri návrhu sa vychádza z platných noriem ČSN.

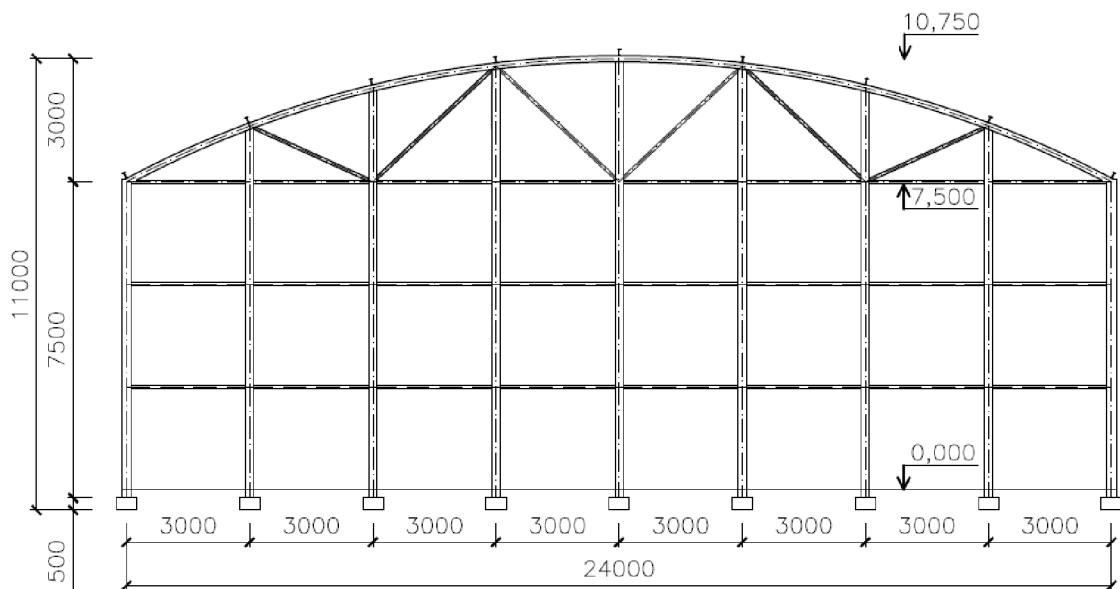
## 2 Geometria



Obr. 1: Schematický pôdorys



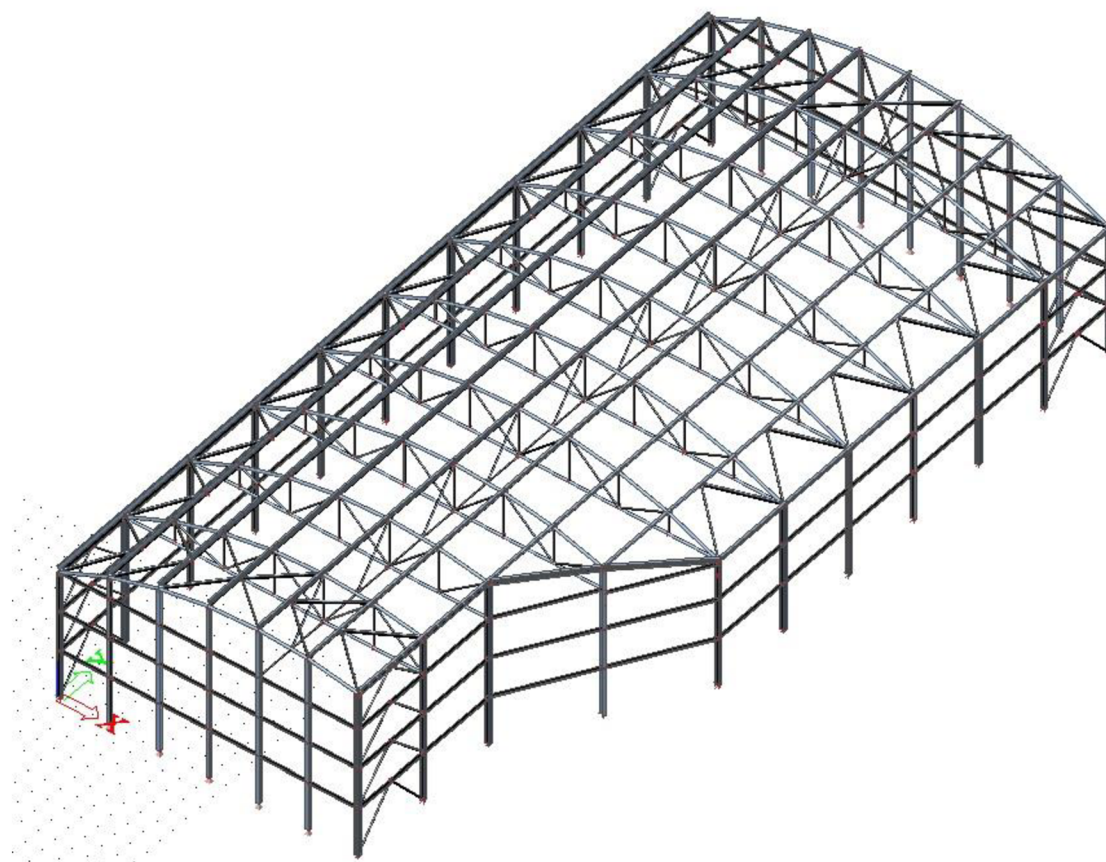
Obr. 2: Schematický priečný rez



Obr. 3: Schematická čelná stena

### 3 Výpočtový model

Prutový model priestorovej konštrukcie bol vytvorený v programe Scia. Model je riešený na základe konečných prvkov. Všetky krajné stĺpy haly sú vetknuté v priečnom smere. Čelné stĺpy haly sú uložené na kĺbových podporách. Vážnik je taktiež uložený kĺbovo na vetknutých stĺpoch. Všetky ostatné prvky väznice, paždíky, ztužidlá sú pripojené kĺbovo.



Obr. 4: Axonometria

## 4 Zat'azenie konštrukcie

Zat'azenie bolo spočítane podľa normy ČSN EN 1991 – Eurokód 1 a celkovo pozostáva z 9 zat'azovacích stavov.

ZS1 – vlastná tiaž

ZS2 – strešný plášť

ZS3 – TZB

ZS4 – sneh naviaty vľavo

ZS5 – sneh naviaty vpravo

ZS6 – pozdĺžny vietor

ZS7 – priečny vietor

ZS8 – osamelé bremeno

ZS9 – sneh plný

### 4.1 Zat'azenie stále

#### 4.1.1 ZS1 Vlastná tiaž

Vlastná váha konštrukcie bola automaticky vygenerovaná v programe Scia.

#### 4.1.2 ZS2 Strešný plášť

Strešný plášť tvoria izolačné panely Kingspan KS1000 TOP-DEK. Hrúbka panelu je 100 mm a hmotnosť  $12,35 \text{ kgm}^{-2}$ .

Zat'azenie na  $1 \text{ m}^2$ :

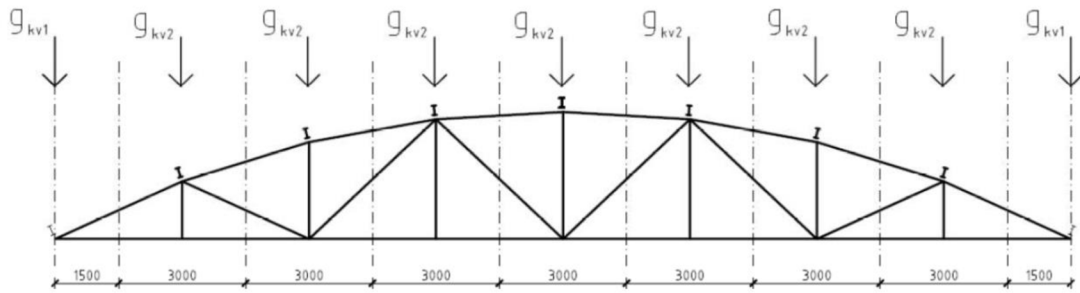
$$g_{k,s} = 0,1235 \text{ kN/m}^2$$

Zat'azenie na okapovú väznicu:

$$G_{kv1} = g_{k,s} \times Z\check{S} = 0,1235 \times 1,5 = 0,185 \text{ kN/m}$$

Zat'azenie na ostatné väznice:

$$G_{kv2} = g_{k,s} \times Z\check{S} = 0,1235 \times 3 = 0,371 \text{ kN/m}$$



Obr. 5: Roznos od strešného plášťa na väznice

### 4.1.3 ZS3 TZB

Hodnota zaťaženia od vplyvu TZB bola stanovená odhadom na  $1 \text{ m}^2$ . Bodová sila pôsobí na spodnom páse v styčníkoch.

Zaťaženie na  $1 \text{ m}^2$ :

$$g_{k,TZB} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

## 4.2 Zaťaženie premenné

### 4.2.1 ZS9 Sneh plný

Snehová oblasť I

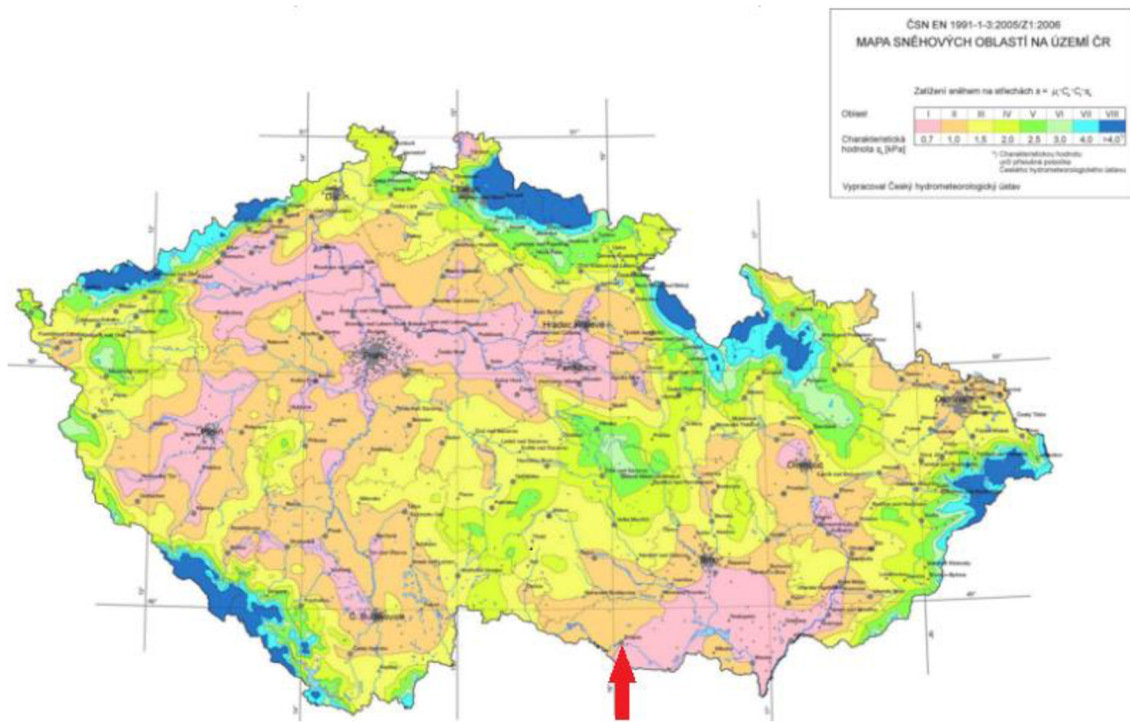
Charakteristická hodnota  $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Súčiniteľ expozície  $C_e = 0,8$

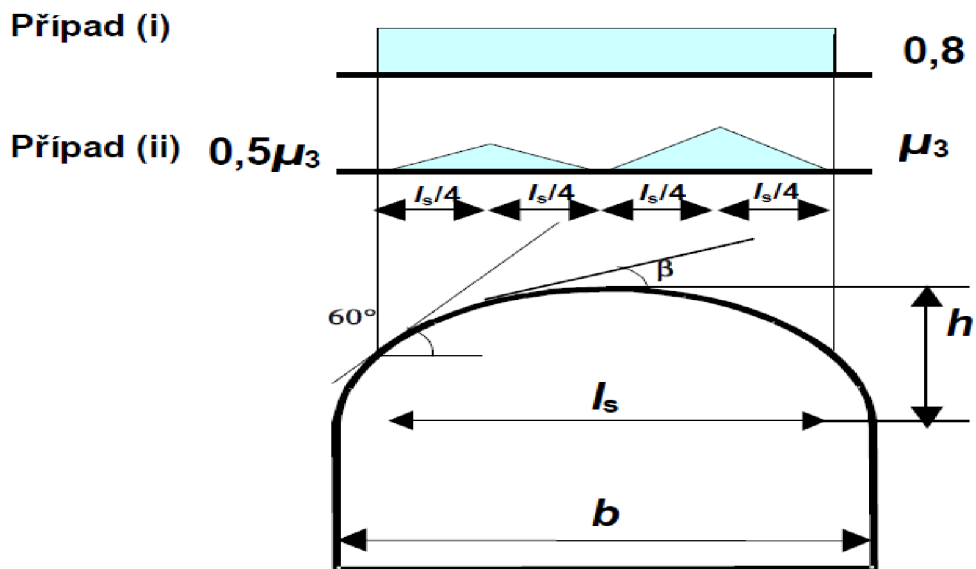
Teplotný súčiniteľ  $C_t = 1,0$

Tvarový súčiniteľ  $\mu_1 = 0,8$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \frac{3}{24} = 1,45$$



Obr. 6: Mapa sněhových oblastí ČR s vyznačením výstavby



Obr. 7: Tvarové súčinitele zaťaženia snehom

Výpočet plného snehu:

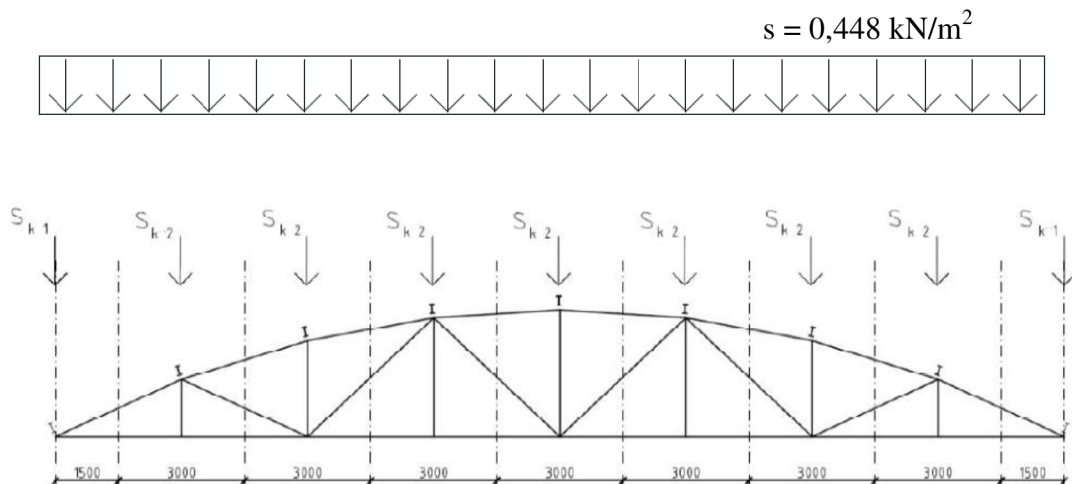
$$s = \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,7 = 0,448 \text{ kN/m}^2$$

Zaťaženie na okapovú väznicu:

$$S_{k1} = s \times Z\check{S} = 0,448 \times 1,5 = 0,672 \text{ kN/m}$$

Zaťaženie na ostatné väznice:

$$S_{k2} = s \times Z\check{S} = 0,448 \times 3 = 1,344 \text{ kN/m}$$



Obr. 8: Roznos plného snehu na väznicu

#### 4.2.2 ZS4 Sneh naviaty vľavo

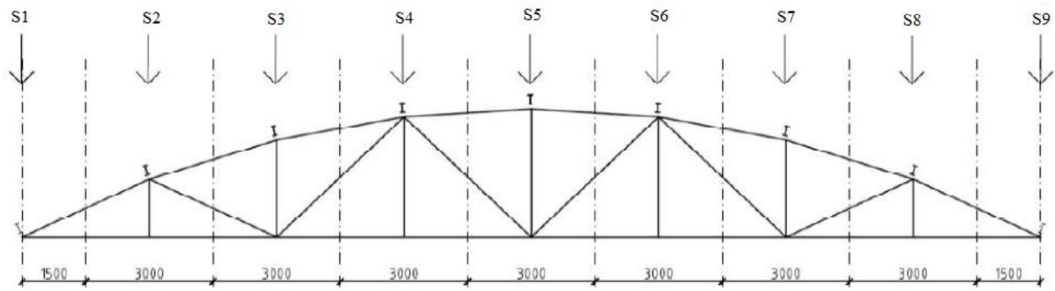
Výpočet naviateho snehu:

$$s_1 = \mu_3 \times C_e \times C_t \times s_k = 1,45 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,7 = 0,812 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,5\mu_3 \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,7 = 0,406 \text{ kN/m}^2$$







Obr. 9: Roznos snehu naviateho vľavo

Prvok	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
ZŠ [m]	1,5	3	3	3	3	3	3	3	1,5
s [kN/m]	0,19	1,53	2,61	1,53	0,28	0,77	1,53	0,77	0,1

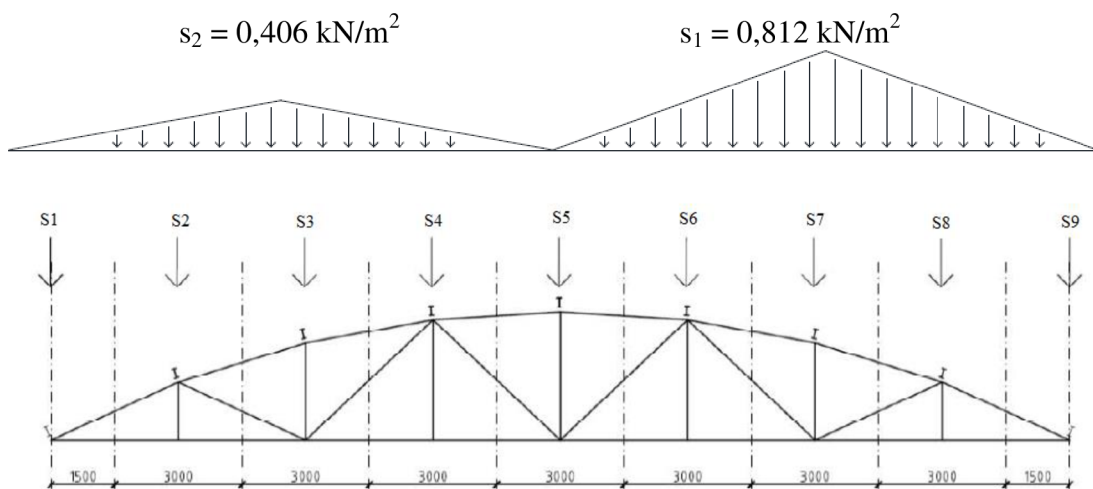
Tab. 1: Zaťaženie naviatym snehom vľavo

#### 4.2.3 ZS5 Sneh naviaty vpravo

Výpočet naviateho snehu:

$$s_1 = \mu_3 \times C_e \times C_t \times s_k = 1,45 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,7 = 0,812 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,5\mu_3 \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,7 = 0,406 \text{ kN/m}^2$$



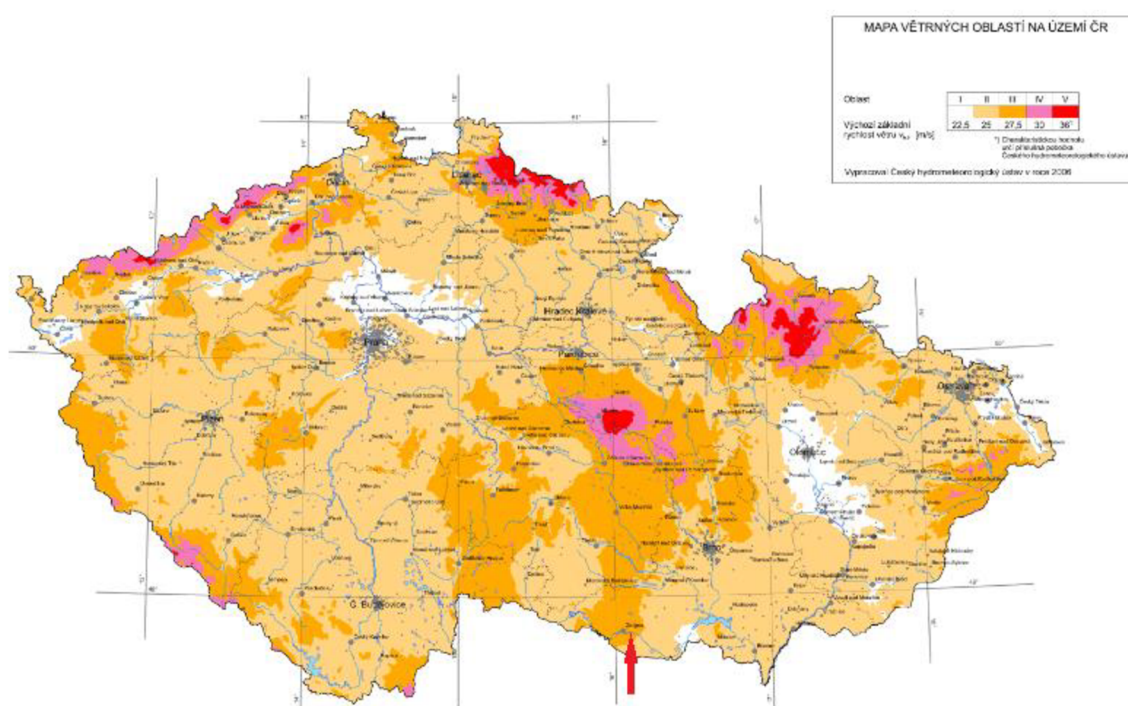
Obr. 10: Roznos snehu naviateho vpravo

Prvok	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
ZŠ [m]	1,5	3	3	3	3	3	3	3	1,5
s [kN/m]	0,1	0,77	1,53	0,77	0,28	1,53	2,61	1,53	0,19

Tab. 2: Zaťaženie naviatym snehom vpravo

#### 4.2.4 ZS6 Pozdĺžny vietor

Veterná oblasť III



Obr. 11: Mapa veterných oblastí ČR s vyznačením výstavby

Základná rýchlosť vetra podľa oblasti:  $v_{b,0} = 27,5$  m/s

Súčiniteľ smeru vetra:  $c_{dir} = 1,0$

Súčiniteľ ročného obdobia:  $c_{season} = 1,0$

Základná rýchlosť vetra:

$$V_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

Parameter drsnosti terénu:  $z_0 = 0,3$

Minimálna výška:  $z_{\min} = 5 \text{ m}$

Maximálna výška:  $z_{\max} = 200 \text{ m}$

Súčiniteľ orografie  $c_{o(z)} = 1,0$

Drsnosť terénu :  $c_{r(z)} = k_r \times \ln\left(\frac{\max(z_e; z_{\min})}{z_0}\right) = 0,215 \times \ln\left(\frac{11}{0,3}\right) = 0,776$

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$z_e = h + f = 8 + 3 = 11 \text{ m}$$

Stredná rýchlosť vetra:

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} \times c_{o(z)} \times v_{b,0} = 0,776 \times 1 \times 27,5 = 21,34 \text{ m/s}$$

Turbulencia vetra:

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{o(z)} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1 \times \ln\frac{11}{0,3}} = 0,28$$

Súčiniteľ expozície:

$$c_{e(z_0)} = [1 + 7 \times I_{v(z)}] \times c_{r(z)}^2 \times c_{o(z)}^2 = [1 + 7 \times 0,28] \times 0,776^2 \times 1,0^2 = 1,782$$

$$q_{p(z)} = [1 + 7 \times I_{v(z)}] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_{m(z)}^2 = [1 + 7 \times 0,28] \times 0,5 \times 1,25 \times 21,34^2 = 0,843 \text{ kN/m}^2$$

**Zat'azenie na pozdĺžnu stenu**

$$b = 24 \text{ m}$$

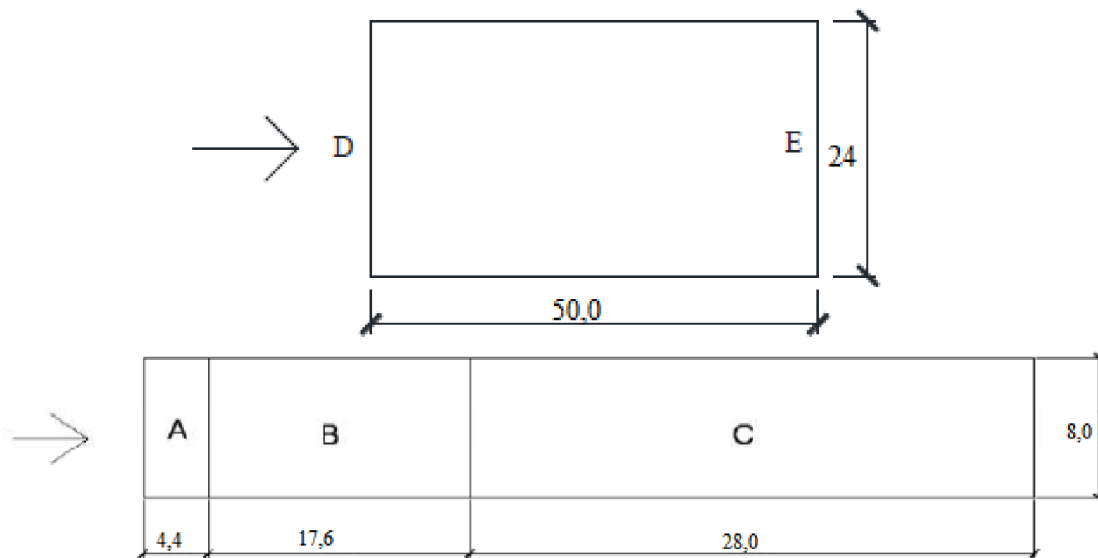
$$d = 50 \text{ m}$$

$$h = 11 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(24; 2 \times 11) = 22 \text{ m}$$

$$e < d = 22 \text{ m} < 50 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11}{50} = 0,22$$



Obr. 12: Zat'azenie od pozdĺžneho vetra na pozdĺžne a čelné steny

Tlak vetra:

$$w_e = q_{p(z)} \times c_{pe}$$

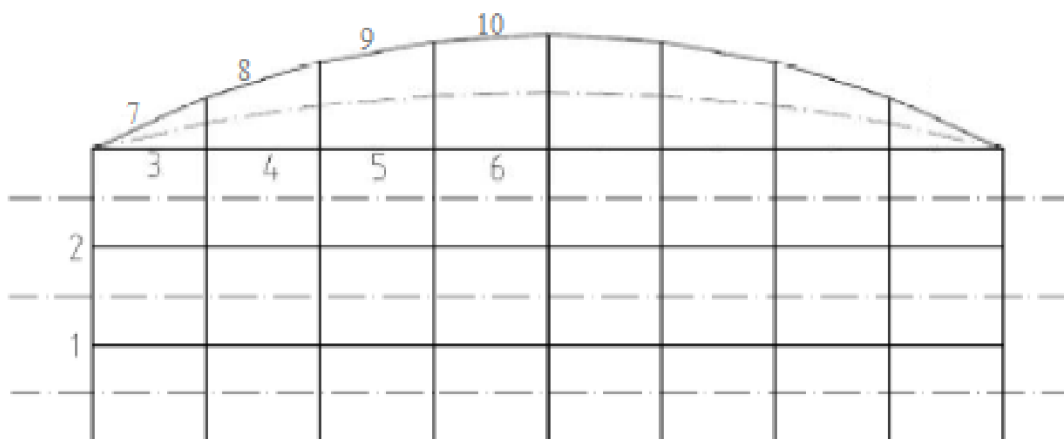
$$w_{e,A} = 0,843 \times (-1,2) = - 1,012 \text{ kPa}$$

$$w_{e,B} = 0,843 \times (-0,8) = - 0,674 \text{ kPa}$$

$$w_{e,C} = 0,843 \times (-0,5) = - 0,422 \text{ kPa}$$

$$w_{e,D} = 0,843 \times 0,7 = - 0,590 \text{ kPa}$$

$$w_{e,E} = 0,843 \times (-0,3) = - 0,253 \text{ kPa}$$



Obr. 13: Schéma zat'azenia pažďíkov od pozdĺžneho vetra

Prut	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	1D
ZŠ	2,750	2,500	1,250	2,750	2,500	1,250	2,750	2,500	1,250	2,750
We [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,012	-1,012	-1,012	-0,674	-0,674	-0,674	-0,422	-0,422	-0,422	0,590
Wep [kN/m]	-2,783	-2,530	-1,265	-1,854	-1,685	-0,843	-1,161	-1,055	-0,528	1,623

Prut	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	1E
ZŠ	2,500	1,900	2,373	2,650	2,742	0,715	1,160	1,423	1,498	2,750
We [kN/m <sup>2</sup> ]	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590	-0,300
Wep [kN/m]	1,475	1,121	1,400	1,564	1,618	0,422	0,684	0,840	0,884	-0,825

Prut	2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	10E
ZŠ	2,500	1,900	2,373	2,650	2,742	0,715	1,160	1,423	1,498
We [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300	-0,300
Wep [kN/m]	-0,750	-0,570	-0,712	-0,795	-0,823	-0,215	-0,348	-0,427	-0,449

Tab. 3: Zat'azenie od pozdl'neho vetra na pazd'iky čelnej a pozdl'znej steny

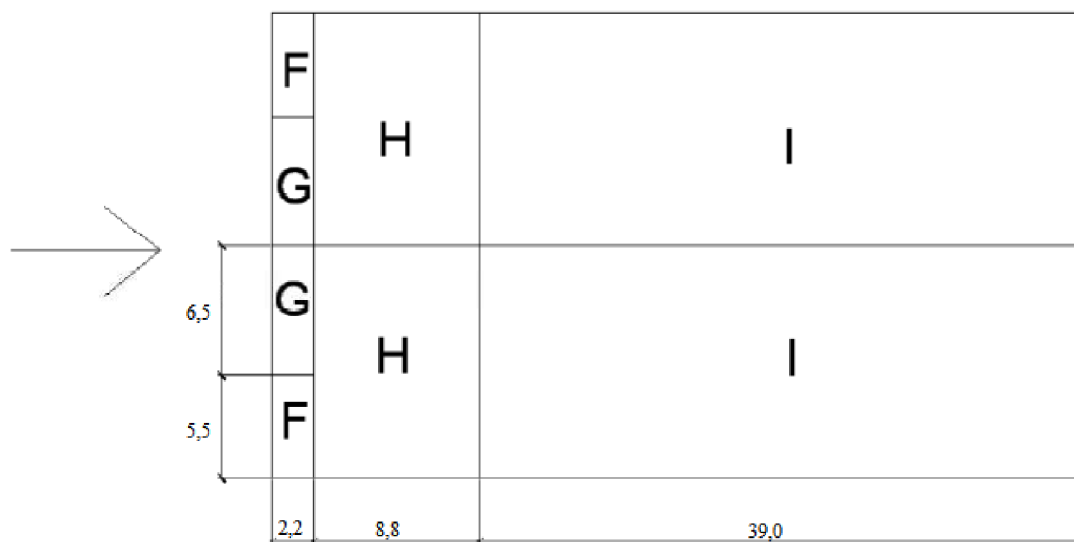
### Zat'azenie na strechu

$$b = 24 \text{ m}$$

$$d = 50 \text{ m}$$

$$h = 11 \text{ m}$$

$$e = \min ( b; 2h ) = \min ( 24; 2 \times 11 ) = 22 \text{ m}$$



Obr. 14: Zat'azenie od pozdl'neho vetra na strechu

Tlak vetra:

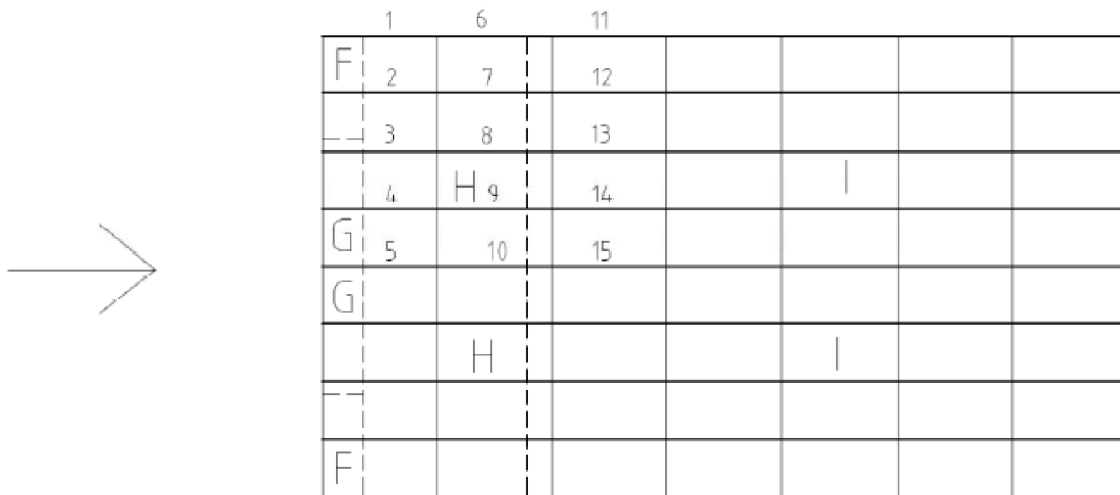
$$w_e = q_{p(z)} \times C_{pe}$$

$$w_{e,F} = 0,843 \times (-1,4) = - 1,18 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,843 \times (-1,3) = - 1,096 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,843 \times (-0,63) = - 0,531 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,843 \times (-0,53) = - 0,447 \text{ kPa}$$



Obr. 15: Schéma zaťaženia väzníc od pozdĺžneho vetra

Vaznice	Oblast	ZŠ [m]	we [m]	we,p [kN/m]
1	F	1,67	-1,18	-1,971
	H	1,67	-0,531	-0,887
2	F	3,21	-1,18	-3,788
	H	3,21	-0,531	-1,705
3	FG	0,89+2,2	1,18+(-1,096)	-3,461
	H	3,09	-0,531	-1,641
4	G	3,02	-1,096	-3,310
	H	3,02	-0,531	-1,604
5	G	3,00	-1,096	-3,288
	H	3,00	-0,531	-1,593
6	H	1,67	-1,18	-1,971
7	H	3,21	-1,18	-3,788
8	H	3,09	-1,18	-3,646
9	H	3,02	-1,18	-3,564
10	H	3,00	-1,18	-3,540
11	H	1,67	-1,18	-1,971
	I	1,67	-0,447	-0,746
12	H	3,21	-1,18	-3,788
	I	3,21	-0,447	-1,435
13	H	3,09	-1,18	-3,646
	I	3,09	-0,447	-1,381
14	H	3,02	-1,18	-3,564
	I	3,02	-0,447	-1,350
15	H	3,00	-1,18	-3,540
	I	3,00	-0,447	-1,341

Tab. 4: Zaťaženie od pozdĺžneho vetra na väznice

#### 4.2.5 ZS7 Priechy vietor

##### Zaťaženie na stenu

$$b = 50 \text{ m}$$

$$d = 24 \text{ m}$$

$$h = 11 \text{ m}$$

$$e = \min ( b; 2h ) = \min ( 24; 2 \times 11 ) = 22 \text{ m}$$

$$e < d = 22 \text{ m} < 24 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11}{24} = 0,458$$

Tlak vetra:

$$w_e = q_{p(z)} \times C_{pe}$$

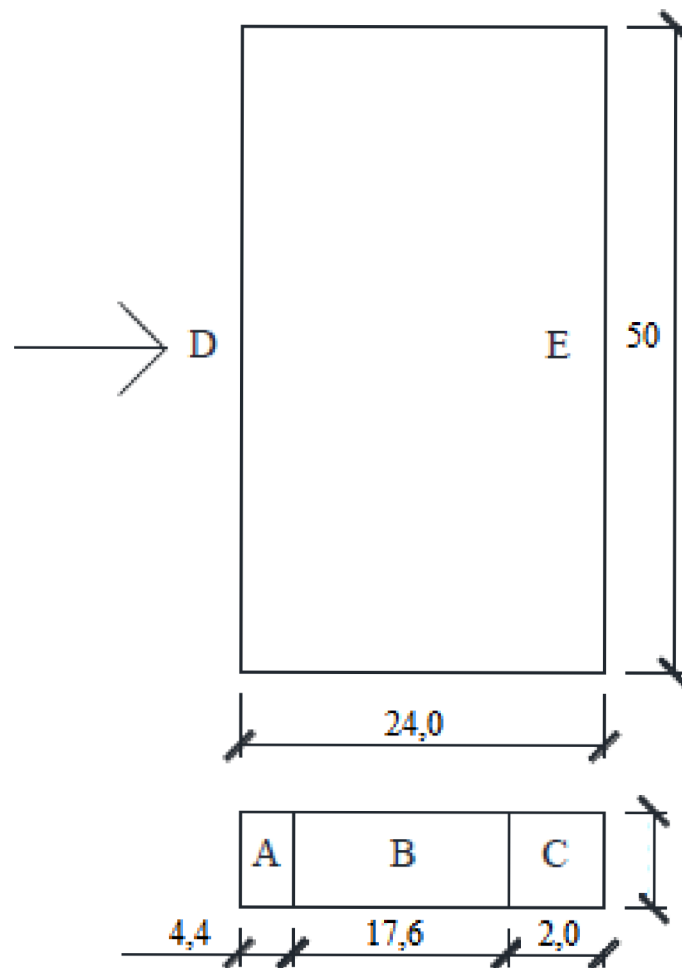
$$w_{e,A} = 0,843 \times (-1,2) = - 1,012 \text{ kPa}$$

$$w_{e,B} = 0,843 \times (-0,8) = - 0,674 \text{ kPa}$$

$$w_{e,C} = 0,843 \times (-0,5) = - 0,422 \text{ kPa}$$

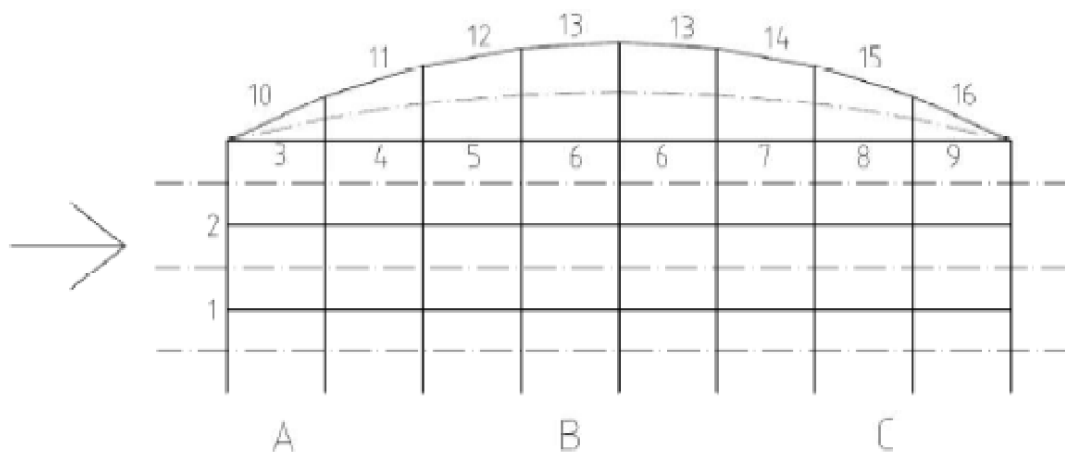
$$w_{e,D} = 0,843 \times 0,73 = + 0,615 \text{ kPa}$$

$$w_{e,E} = 0,843 \times (-0,36) = - 0,303 \text{ kPa}$$



Obr. 16: Taženie od priečneho vetra na čelné a bočné steny





Obr. 17: Schéma zaťaženia paždíkov od priečneho vetra

Prut	1A	1A+1B	1B+1C	2A	2A+2B	2B+2C	3A
ZŠ	2,750	2,750	2,750	2,500	2,500	2,500	1,900
We [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,012	1,012-0,674	0,674;-0,422	-1,012	1,012-0,674	0,674;-0,422	-1,012
Wep [kN/m]	-2,783	2,783;-1,854	1,854;-1,161	-2,530	2,53;-1,685	1,685;-1,055	-1,923

4A+4B	5B	6B	7B	8B	9B+9C	10A	11A+11B	12B
(2,313+2,488)	2,650	2,650	2,650	2,650	(0,49+0,413)	0,715	(1,101+1,276)	1,423
1,012-0,674	-0,674	-0,674	-0,674	-0,674	0,674;-0,422	-1,012	1,012-0,674	-0,674
2,34;-1,677	-1,786	-1,786	-1,786	-1,786	0,330;-0,174	-0,724	1,114;-0,860	-0,959

13B	14B	15B	16B+16C	1D	2D	3D	1E	2E	3E
1,498	1,423	1,160	(0,35+0,243)	2,750	2,500	1,250	2,750	2,500	1,250
-0,674	-0,674	-0,674	0,674;-0,422	0,615	0,615	0,615	-0,303	-0,303	-0,303
-1,010	-0,959	-0,782	0,236;-0,103	1,691	1,538	0,769	-0,833	-0,758	-0,379

Tab. 5: Zaťaženie od priečneho vetra na paždíky

### Zaťaženie na strechu

$$h = 8 \text{ m}$$

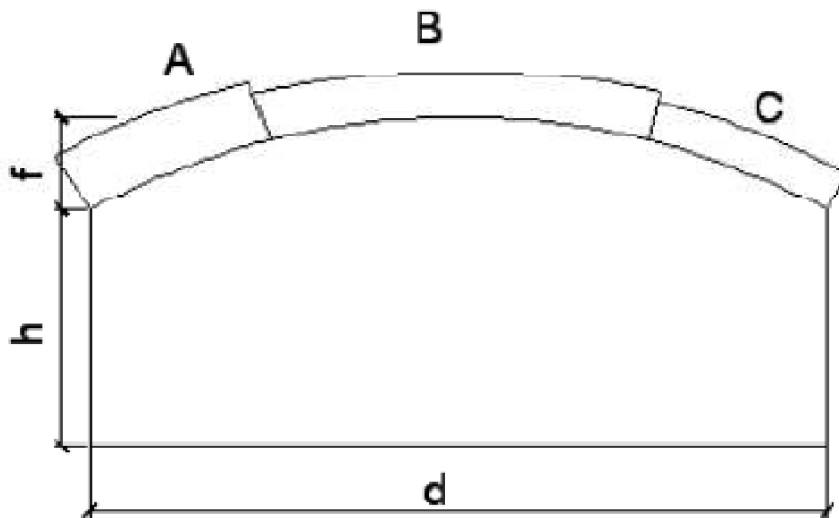
$$f = 3 \text{ m}$$

$$d = 24 \text{ m}$$

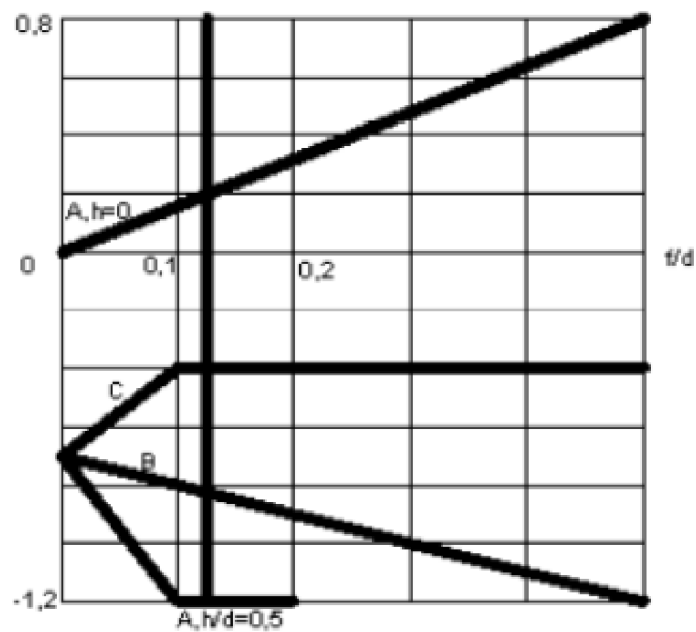
$$l = 50 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{8}{24} = 0,333$$

$$\frac{f}{d} = \frac{3,5}{24} = 0,146$$



Obr. 18: Schéma pôsobenia vetra na strechu



Obr. 19: Súčinitele vonkajšieho tlaku pre valcovú strechu

Tlak vetra:

$$w_e = q_{p(z)} \times C_{pe}$$

$$w_{e, A} = 0,843 \times (-0,733) = - 0,618 \text{ kPa}$$

$$w_{e, B} = 0,843 \times (-0,832) = - 0,702 \text{ kPa}$$

$$w_{e, C} = 0,843 \times (-0,4) = - 0,338 \text{ kPa}$$

Prut	1A	2A	3A+3B	4B	5B	6B	7B+7C
ZŠ	1,672	3,210	1,378+1,716	3,023	3,002	3,023	1,716+1,378
We [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,618	-0,618	-0,618-0,702	-0,702	-0,702	-0,702	-0,702-0,338
Wep [kN/m]	-1,033	-1,984	-2,056	-2,122	-2,107	-2,122	1,671

8C	9C
3,210	1,672
-0,338	-0,338
-1,085	-0,565

Tab. 6: Zaťaženie od priečneho vetra na väznice

#### 4.2.6 ZS8 Osamelé bremeno

Strecha konštrukcie patrí do kategórie H tzn. strechy neprístupné s výnimkou bežnej údržby alebo oprav. Veľkosť zaťaženia  $Q_k = 1,0$  kN.

### 4.3 Kombinácie zaťaženia

1	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC7*1,50 +LC9*1,00
2	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC3*1,50 +LC7*0,90 +LC9*1,35
3	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC3*1,50 +LC9*1,35
4	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC3*0,75 +LC7*1,50 +LC9*1,35
5	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC3*1,50 +LC6*0,90 +LC9*1,35
6	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC4*0,75 +LC7*1,50 +LC9*1,35
7	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*0,75 +LC7*1,50 +LC9*1,00
8	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC4*1,50 +LC9*1,35
9	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC6*1,50 +LC9*1,00
10	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*0,75 +LC7*1,50 +LC9*1,00
11	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC4*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,35
12	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC3*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,35
13	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*1,50 +LC9*1,00
14	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC6*1,50 +LC9*1,35
15	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC7*1,50 +LC9*1,35
16	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC8*1,50 +LC9*1,00
17	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC4*1,50 +LC7*0,90 +LC9*1,35
18	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,00
19	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC5*1,50 +LC9*1,35
20	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC5*0,75 +LC7*1,50 +LC9*1,35
21	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*1,50 +LC6*0,90 +LC9*1,00
22	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC5*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,35
23	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC9*1,00
24	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC4*1,50 +LC6*0,90 +LC9*1,35
25	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*1,50 +LC7*0,90 +LC9*1,00
26	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*1,50 +LC9*1,00
27	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC5*1,50 +LC7*0,90 +LC9*1,35
28	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,00
29	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*0,50 +LC7*1,00 +LC9*1,00
30	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*1,00 +LC9*1,00
31	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*1,00 +LC9*1,00
32	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC6*1,00 +LC9*1,00
33	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC7*1,00 +LC9*1,00
34	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*0,50 +LC7*1,00 +LC9*1,00
35	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*0,50 +LC6*1,00 +LC9*1,00
36	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*0,50 +LC6*1,00 +LC9*1,00
37	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*1,00 +LC6*0,60 +LC9*1,00
38	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*1,00 +LC7*0,60 +LC9*1,00
39	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC8*1,00 +LC9*1,00
40	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*1,00 +LC7*0,60 +LC9*1,00
41	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*1,00 +LC9*1,00
42	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*0,50 +LC7*1,00 +LC9*1,00
43	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC4*1,00 +LC6*0,60 +LC9*1,00
44	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*0,50 +LC6*1,00 +LC9*1,00
45	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC5*1,00 +LC7*0,60 +LC9*1,00
46	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC9*1,35
47	LC1*1,00 +LC2*1,00 +LC3*0,75 +LC6*1,50 +LC9*1,00
48	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC5*1,50 +LC6*0,90 +LC9*1,35
49	LC1*1,35 +LC2*1,35 +LC8*1,50 +LC9*1,35

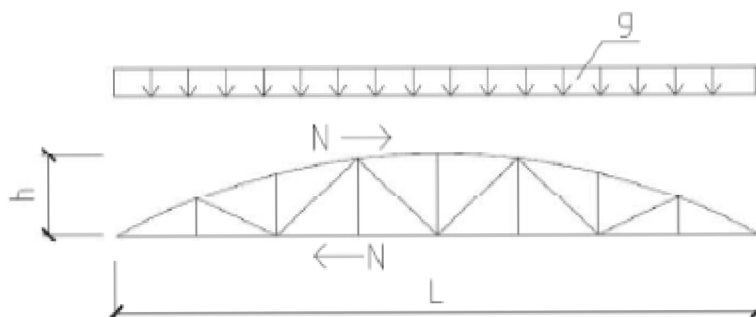
Obr. 20: Kľúč kombinácií z programu

## 5 Vnútorne sily

Vnútorne sily boli spočítane pomocou programu Scia a sú uvedené v prílohe E.

### 5.1 Kontrola výsledkov

Kontrola vnútorných síl sa preverí od zaťaženia nenaviateho snehu.



Obr. 21: Zaťaženie plným snehom

$$h = 3 \text{ m}$$

$$L = 24 \text{ m}$$

$$M = 1/8 \times g l^2 = 1/8 \times 4 \times 24^2 = 288 \text{ kN/m}$$

$$N = M/h = 288 / 3 = 96 \text{ kN/m}$$

Výsledky z programu Scia:  $N = 95,77 \text{ kN} - 99,69 \text{ kN}$

## 6 Medzný stav únosnosti

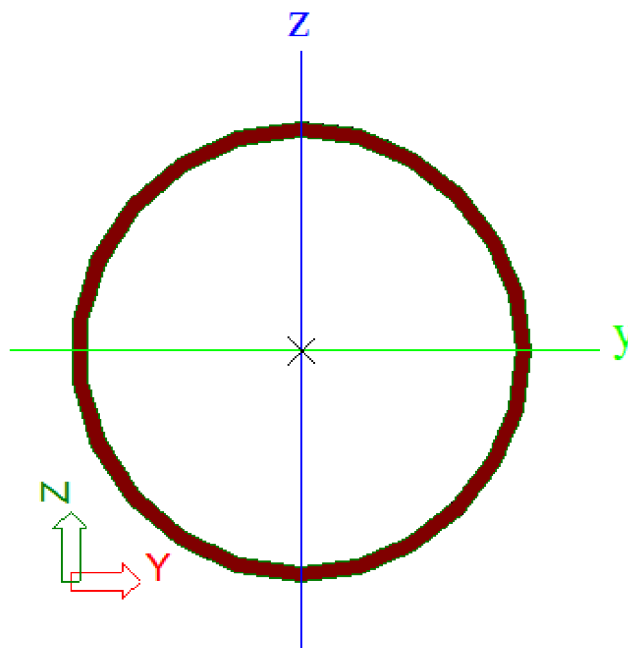
### 6.1 Horný pás

#### 6.1.1 Materiálové a prierezové charakteristiky

Oceľ: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$



Obr. 22: TR Ø 152,4 X 5

$$A = 2,32 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,0863 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikácia prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} = \frac{152,4}{5} = 30,48 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \rightarrow \text{trieda 1}$$

### 6.1.2 Vnútorne sily

Kombinácia CO 1/6, prut B191

$$N_{Ed} = -324,93 \text{ kN} \quad V_{z,Ed} = 1,16 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,04 \text{ kN} \quad M_{z,Ed} = 0,33 \text{ kNm} \quad T_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

### 6.1.3 Posudok na tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,00$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 545,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{324,93}{545,5} = 0,6 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.1.4 Posudok ohybového momentu

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,00$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0863 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 25,53 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,33}{25,53} = 0,01 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.1.5 Posudok rovinného vzperu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

Vzperné dĺžky:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = \beta \times L = 1 \times 3,293 = 3,293 \text{ m}$$

Kritická sila:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^6 \times 6,3 \times 10^{-6}}{3,293^2} = 1203,8 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1203,8}} = 0,67$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,86$$

$$\Phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,67 - 0,2) + 0,67^2] = 0,774$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,86 \times 2,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 468,91 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{324,93}{468,91} = 0,69 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.1.6 Posudok ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} + k_{yz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} + k_{zz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}} \leq 1,00$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 2,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3 = 545,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \times f_y = 1,0863 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3 = 25,53 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,00 \quad C_{m,y} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{m,y} \left( 1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,y} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left( 1 + (0,67 - 0,2) \frac{324,93}{0,86 \times 545,2 / 1,0} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{324,93}{0,86 \times 545,2 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,19 \leq 1,55 \rightarrow k_{yy} = 1,19$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 1,19 = 0,71$$

$$\Psi_z = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,33}{0,55} = 0,6$$

$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 + 0,4 \times 0,6 = 0,84$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \left( 1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,z} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,84 \left( 1 + (0,67 - 0,2) \frac{324,93}{0,86 \times 545,2 / 1,0} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{324,93}{0,86 \times 545,2 / 1,0} \right)$$



$$k_{zz} = 1,11 \leq 1,55 \rightarrow k_{yy} = 1,11$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 1,11 = 0,67$$

$$\alpha_{LT} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{1,61}{2,62} = 0,61$$

$$C_{m,LT} = 0,2 + 0,8\alpha_{LT} = 0,2 + 0,8 \times 0,61 = 0,688$$

$$\frac{324,93}{0,86 \times 545,2} + 1,19 \times \frac{2,62}{1,0 \times 25,53} + 0,67 \times \frac{0,33}{1,0 \times 25,53} \leq 1,00$$

$$0,693 + 0,122 + 0,01 = 0,83 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{324,93}{0,86 \times 545,2} + 0,714 \times \frac{2,62}{1,0 \times 25,53} + 1,11 \times \frac{0,33}{1,0 \times 25,53} \leq 1,00$$

$$0,693 + 0,07 + 0,01 = 0,77 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

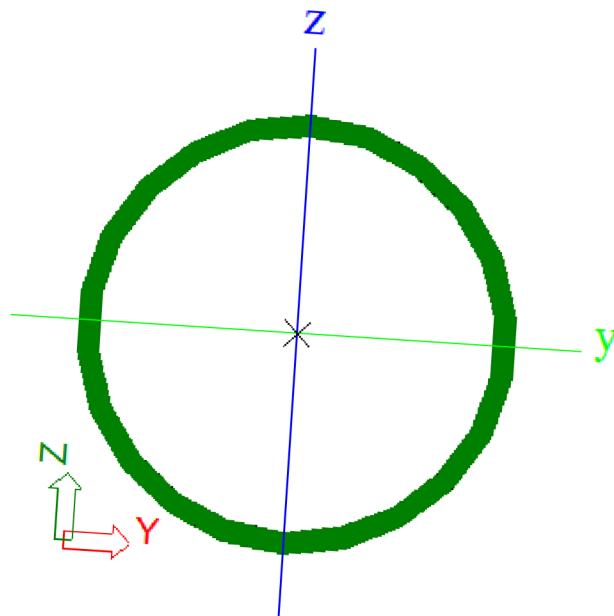
## 6.2 Dolný pás

### 6.2.1 Materiálové a prierezové charakteristiky

Oceľ: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$



Obr. 23: TR $\tilde{\emptyset}$  133 X 6,3

$$A = 2,51 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 5,04 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,0113 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikácia prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} = \frac{133}{6,3} = 21,11 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \rightarrow \text{trieda 1}$$

### 6.2.2 Vnútorné sily

Kombinácia CO 1/1, prut B129

$$N_{Ed} = -52,61 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,62 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -1,07 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,04 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -0,49 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,09 \text{ kN}$$

### 6.2.3 Posudok na ťah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,51 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 589,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{52,61}{589,85} = 0,09 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.2.4 Posudok rovinného vzperu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

Vzperné dĺžky:

$$L_{cr,y} = \beta \times L = 1 \times 3,0 = 12,0 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \times L = 0,5 \times 24 = 3,0 \text{ m}$$

Kritická sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 x E x I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 x 210x10^6 x 5,04x10^{-6}}{12,0^2} = 72,54 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 x E x I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 x 210x10^6 x 5,04x10^{-6}}{3,0^2} = 1160,67 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A x f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,51x10^{-3} x 235x10^3}{73,54}} = 2,85$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A x f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,51x10^{-3} x 235x10^3}{1160,67}} = 0,71$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{4,84 + \sqrt{4,84^2 - 2,85^2}} = 0,11$$

$$\Phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (2,85 - 0,2) + 2,85^2] = 4,84$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,84$$

$$\Phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,71 - 0,2) + 0,71^2] = 0,806$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,11 \times 2,51x10^{-3} \times 235x10^3}{1,00} = 67,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{52,61}{67,34} = 0,78 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6.2.5 Posudok ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} + k_{yz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} + k_{zz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}} \leq 1,00$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 2,51 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3 = 589,85 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \times f_y = 1,0113 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3 = 23,77 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,00$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{m,y} \left( 1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,y} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left( 1 + (2,85 - 0,2) \frac{52,61}{0,11 \times 589,85/1,0} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{52,61}{0,11 \times 589,85/1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,46 \leq 1,48 \rightarrow k_{yy} = 1,46$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 1,46 = 0,88$$

$$\alpha_{s,z} = \frac{M_{s,z}}{M_{h,z}} = \frac{0,11}{0,58} = 0,19$$

$$\Psi_{s,z} = 0$$

$$C_{m,z} = 0,2 + 0,8\alpha_{s,z} = 0,2 + 0,8 \times 0,19 = 0,4$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \left( 1 + (\lambda_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,z} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \left( 1 + (0,71 - 0,2) \frac{52,61}{0,84 \times 589,85/1,0} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{52,61}{0,84 \times 589,85/1} \right)$$

$$k_{zz} = 0,43 \leq 1,48 \rightarrow k_{yy} = 0,43$$

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 0,43 = 0,26$$

$$\Psi_{LT} = 0$$

$$C_{m,LT} = 0,6$$

$$\frac{52,61}{0,11 \times 589,85} + 1,46 \times \frac{2,51}{1,0 \times 23,77} + 0,26 \times \frac{0,72}{1,0 \times 23,77} \leq 1,00$$

$$0,81 + 0,15 + 0,01 = 0,97 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{52,61}{0,84 \times 589,85} + 0,88 \times \frac{2,51}{1,0 \times 23,77} + 0,44 \times \frac{0,72}{1,0 \times 23,77} \leq 1,00$$

$$0,11 + 0,09 + 0,01 = 0,21 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

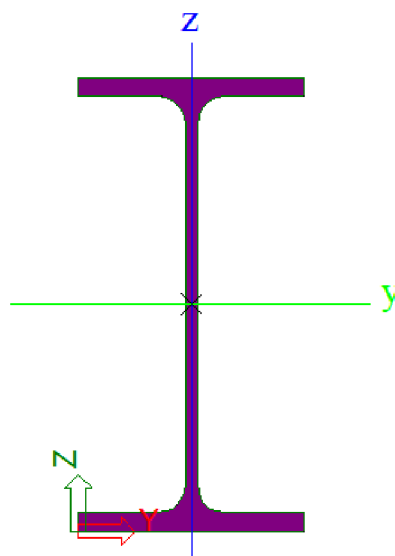
## 6.3 Vážnica

### 6.3.1 Materiálové a prierezové charakteristiky

Oceľ: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$



Obr. 24: IPE 240

$$A = 3,91 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 3,67 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_y = 3,892 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,z} = 7,39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_z = 2,84 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Klasifikácia prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Pásnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{60}{10} = 6 \leq 9\varepsilon = 9 \rightarrow \text{trieda 1}$$

Stojina:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{220}{6} = 36,67 \leq 72\varepsilon = 72 \rightarrow \text{trieda 1}$$

### 6.3.2 Vnútorné sily

Kombinácia CO 1/6, prut B289

$$N_{Ed} = -103,45 \text{ kN} \quad V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 14,21 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN} \quad M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm} \quad T_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

### 6.3.3 Posudok na ohyb

$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} \leq 1,00$$

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,67 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 86,25 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{14,21}{86,25} = 0,16 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.3.4 Posudok klopenia

Vzperné dĺžky:

$$L_z = 5,0 \text{ m} \quad k_w = 1,0$$

$$L_\omega = 5,0 \text{ m} \quad k_z = 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,00$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \times 5000} \sqrt{\frac{210 \times 10^9 \times 3,74 \times 10^{10}}{81 \times 10^9 \times 12,9 \times 10^4}} = 0,545$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,545^2 + 0^2} - (0) \right] = 1,287$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,287 \frac{\pi \sqrt{210 \times 10^9 \times 2,84 \times 10^{-6} \times 81 \times 10^9 \times 12,9 \times 10^{-8}}}{5}$$

$$M_{cr} = 63,84 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,67 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^6}{63,84 \times 10^3}} = 1,16$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,3 + \sqrt{1,3^2 - 1,16^2}} = 0,53$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (1,16 - 0,2) + 1,16^2] = 1,3$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}} = 0,53 \times \frac{3,67 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^6}{1} = 45,8 \text{ kNm}$$

$$\frac{14,21}{45,8} = 0,31 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

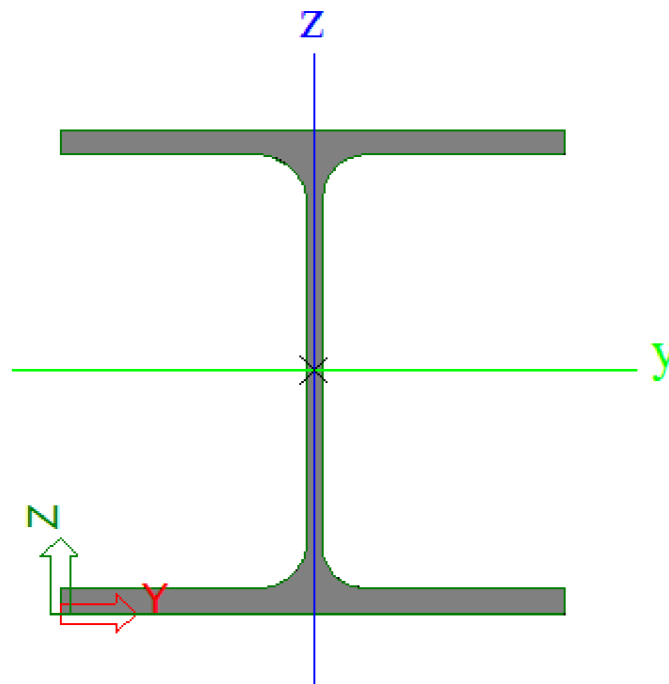
## 6.4 Hlavný stĺp

### 6.4.1 Materiálové a prierezové charakteristiky

Oceľ: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$



Obr. 25: HEA 240

$$A = 7,68 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 7,4583 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_y = 7,76 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,z} = 3,5167 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_z = 2,77 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Klasifikácia prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Pásnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{12} = 7,92 \leq 9\varepsilon = 9 \rightarrow \text{trieda 1}$$

Stojina:

$$\frac{c}{t} = \frac{164}{8} = 20,5 \leq 33\varepsilon = 33 \rightarrow \text{trieda 1}$$

## 6.4.2 Vnútorne sily

Kombinácia CO 1/7, prut B144

$$N_{Ed} = -38,09 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -37,97 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 123,46 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = -0,33 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,55 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 0,17 \text{ kN}$$

## 6.4.3 Posudok na ohyb

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{C,Rd}} \leq 1,00$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,4583 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 175,27 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{123,46}{175,27} = 0,70 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6.4.4 Posudok na smyk

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,00$$



$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2520 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 341,09 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 7,68 \times 10^{-3} - 2 \times 240 \times 12 + (8 + 2 \times 21) \times 12$$

$$A_v = 2520 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2520 \text{ mm}^2 \geq \eta h_w t_w = 1,2 \times 200 \times 8 = 1920 \text{ mm}^2$$

$$\frac{37,97}{341,09} = 0,11 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.4.5 Posudok klopenia

Vzperné dĺžky:

$$L = 8,0 \text{ m} \quad k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,00$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \times 8000} \sqrt{\frac{210 \times 10^9 \times 3,29 \times 10^{11}}{81 \times 10^9 \times 4,16 \times 10^5}} = 0,56$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{3,45}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,56^2 + 0^2} - (0) \right] = 3,96$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 3,96 \frac{\pi \sqrt{210 \times 10^9 \times 2,77 \times 10^{-5} \times 81 \times 10^9 \times 4,16 \times 10^{-7}}}{8}$$

$$M_{cr} = 688,5 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,4583 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^6}{688,5 \times 10^3}} = 0,51$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,683 + \sqrt{0,683^2 - 0,51^2}} = 0,88$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,51 - 0,2) + 0,51^2] = 0,683$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}} = 0,88 \times \frac{7,4583 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^6}{1} = 154,24 \text{ kNm}$$

$$\frac{123,46}{154,24} = 0,8 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

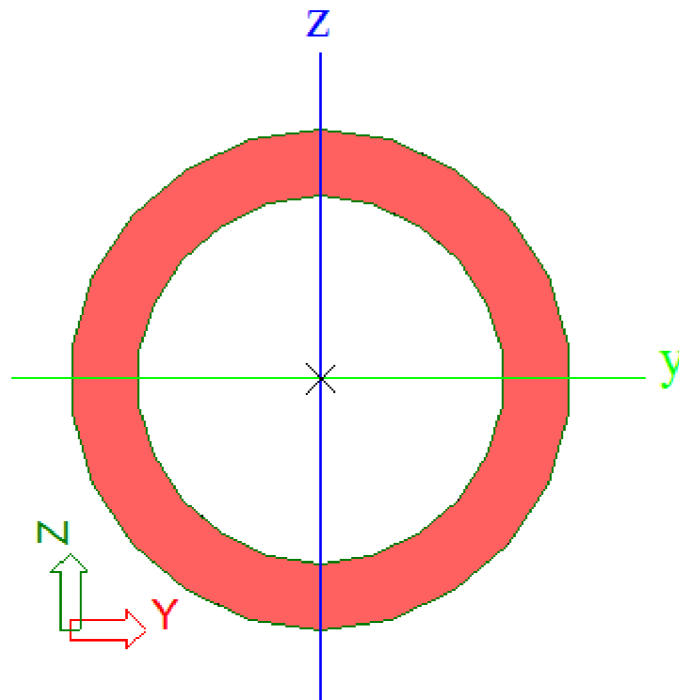
## 6.5 Strešné stužidlo

### 6.5.1 Materiálové a prierezové charakteristiky

Oceľ: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad E = 210 \text{ GPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad G = 81 \text{ GPa}$$



Obr. 26: TR Ø 60,3 X 8

$$A = 1,31 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 4,6 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,1882 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikácia prierezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{c}{t} = \frac{60,3}{8} = 7,54 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \rightarrow \text{trieda 1}$$

### 6.5.2 Vnútorne sily

Kombinácia CO 1/6, prut B603

$$N_{Ed} = -49,59 \text{ kN} \qquad V_{z,Ed} = 0,27 \text{ kN} \qquad M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN} \qquad M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm} \qquad T_{Ed} = 0,15 \text{ kN}$$

### 6.5.3 Posudok rovinného vzperu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00$$

Vzperné dĺžky:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = \beta \times L = 1 \times 3,942 = 3,942 \text{ m}$$

Kritická sila:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^6 \times 4,6 \times 10^{-7}}{3,942^2} = 61,35 \text{ kN}$$

Pomerná štíhlosť:

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,31 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{61,35}} = 2,24$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{3,223 + \sqrt{3,223^2 - 2,24^2}} = 0,18$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (2,24 - 0,2) + 2,24^2] = 3,223$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,18 \times 1,31 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3}{1,00} = 55,56 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{49,59}{55,56} = 0,89 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.5.4 Posudok ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \times N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \times N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \times M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,00$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 1,31 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^3 = 307,85 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl} \times f_y = 2,1882 \times 10^{-5} \times 235 \times 10^3 = 5,14 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,00$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{m,y} \left( 1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,y} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left( 1 + (2,24 - 0,2) \frac{49,59}{0,18 \times 307,85 / 1,0} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{49,59}{0,18 \times 307,85 / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 1,54 \leq 1,54 \rightarrow k_{yy} = 1,54$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 1,54 = 0,93$$

$$\Psi_{LT} = 1,0$$

$$C_{m,LT} = 0,95$$

$$\frac{49,59}{\frac{0,18 \times 307,85}{1,0}} + 1,54 \times \frac{0,26}{\frac{1,0 \times 5,14}{1,0}} + 0,93 \times \frac{0,00}{\frac{1,0 \times 5,14}{1,0}} \leq 1,00$$

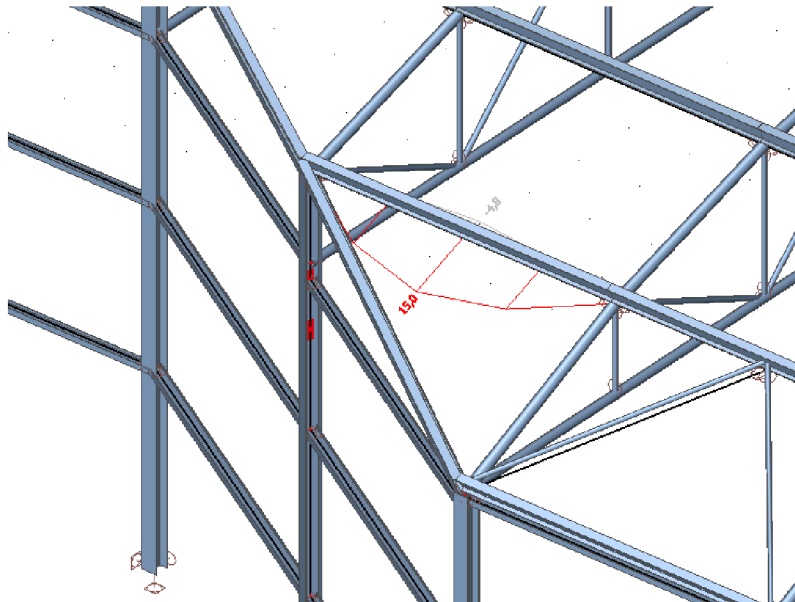
$$0,89 + 0,08 + 0,00 = 0,97 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{49,59}{\frac{0,18 \times 307,85}{1,0}} + 0,93 \times \frac{0,26}{\frac{1,0 \times 5,14}{1,0}} + 1,54 \times \frac{0,00}{\frac{1,0 \times 5,14}{1,0}} \leq 1,00$$

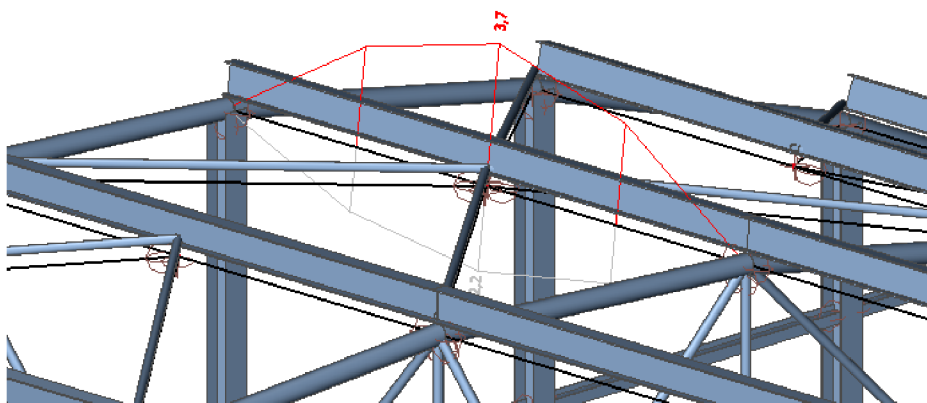
$$0,89 + 0,05 + 0,00 = 0,94 \leq 1,00 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7 Medzný stav použiteľnosti

### 7.1 Vážnica



Obr. 27: Maximálny priehyb vážnice  $\delta_{max,y}$



Obr. 28: Maximálny priehyb vážnice  $\delta_{max,z}$

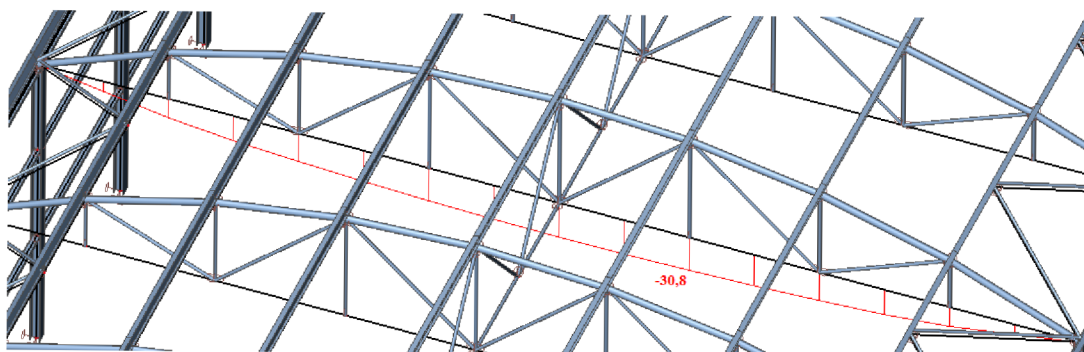
$$\delta_{max} \leq \delta$$

$$\delta = \frac{l}{200} = \frac{5000}{200} = 25,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{max,y} = 15,0 \text{ mm} \leq \delta = 25,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_{max,z} = 3,7 \text{ mm} \leq \delta = 25,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7.2 Vážnik



Obr. 29: Maximálny priehyb väznice  $\delta_{\max,z}$

$$\delta_{\max} \leq \delta$$

$$\delta = \frac{l}{250} = \frac{24000}{250} = 96,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max,y} = 7,1 \text{ mm} \leq \delta = 96,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_{\max,z} = 30,8 \text{ mm} \leq \delta = 96,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

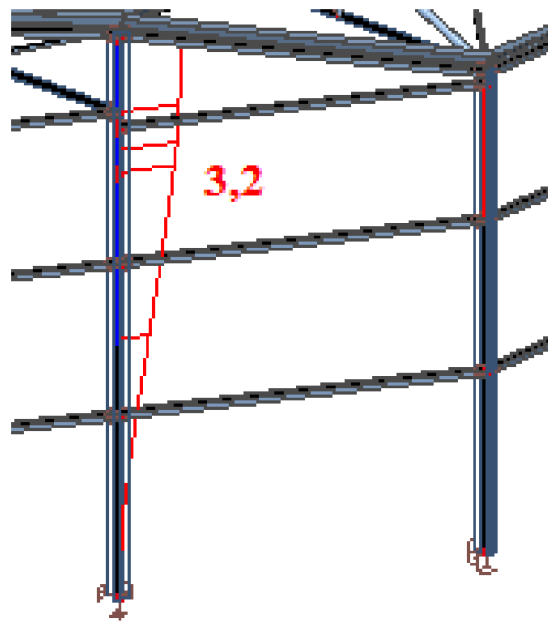
## 7.3 Hlavné stĺpy

$$\delta_{\max} \leq \delta$$

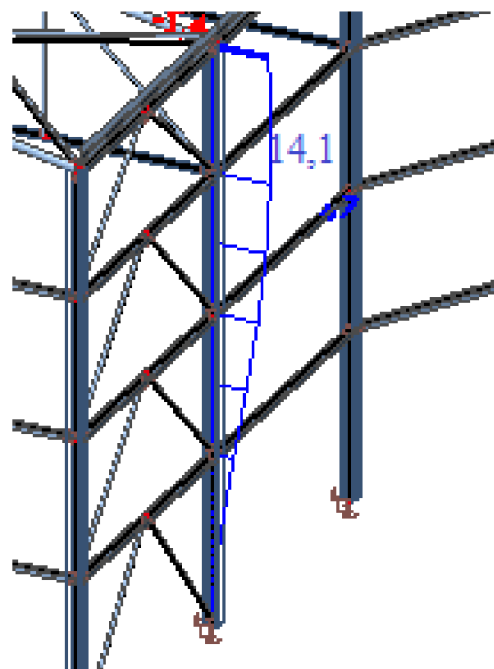
$$\delta = \frac{l}{300} = \frac{8000}{300} = 26,67 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max,y} = 3,2 \text{ mm} \leq \delta = 26,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_{\max,z} = 14,1 \text{ mm} \leq \delta = 26,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 30: Maximálny prichyb väznice  $\delta_{max,y}$



Obr. 31 Maximálny prichyb väznice  $\delta_{max,z}$

## 7.4 Paždíky

$$\delta_{max} \leq \delta$$

$$\delta = \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{max,z} = 13,3 \text{ mm} \leq \delta = 20,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_{max,y} = 14,1 \text{ mm} \leq \delta = 20,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7.5 Strešné stužidlo

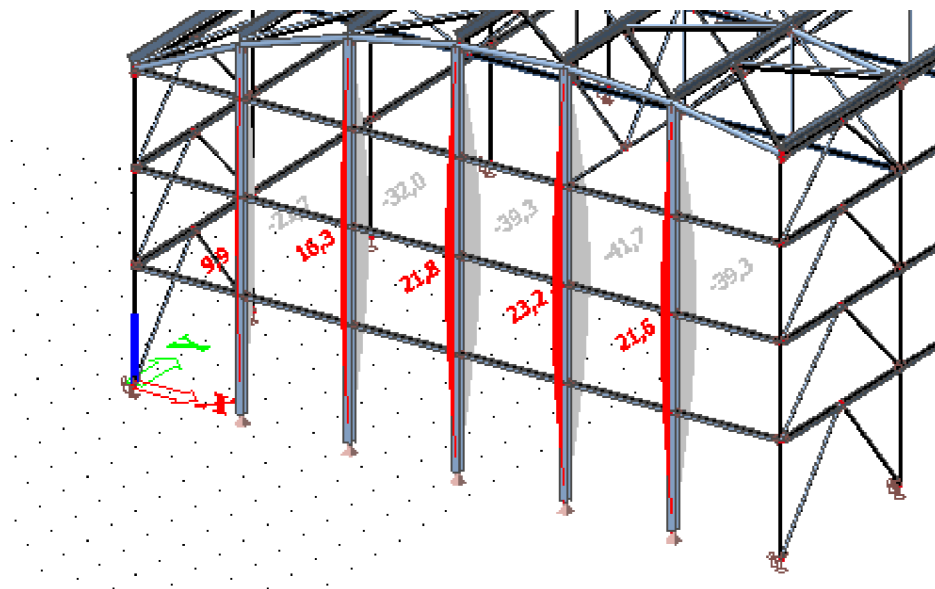
$$\delta_{max} \leq \delta$$

$$\delta = \frac{l}{200} = \frac{4135}{200} = 21,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{max,z} = 20,0 \text{ mm} \leq \delta = 21,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_{max,y} = 0 \text{ mm} \leq \delta = 21,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7.6 Čelné stĺpy



Obr. 32: Maximálne priehyby čelných stĺpov

$$\delta_1 = \frac{l}{250} = \frac{9359}{250} = 37,4 \text{ mm} \geq \delta_{max,1} = 21,7 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_1 = \frac{l}{250} = \frac{10284}{250} = 41,1 \text{ mm} \geq \delta_{max,1} = 32 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

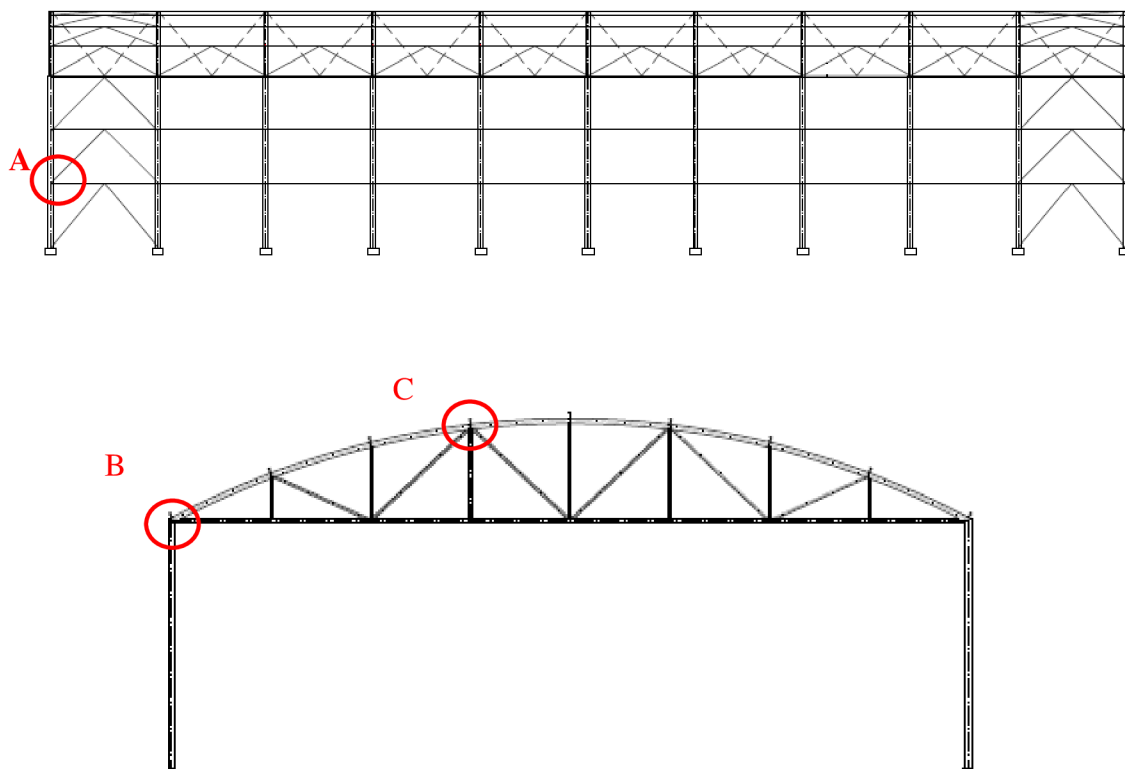
$$\delta_1 = \frac{l}{250} = \frac{10823}{250} = 43,2 \text{ mm} \geq \delta_{max,1} = 39,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\delta_1 = \frac{l}{250} = \frac{11000}{250} = 44,0 \text{ mm} \geq \delta_{max,1} = 41,7 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



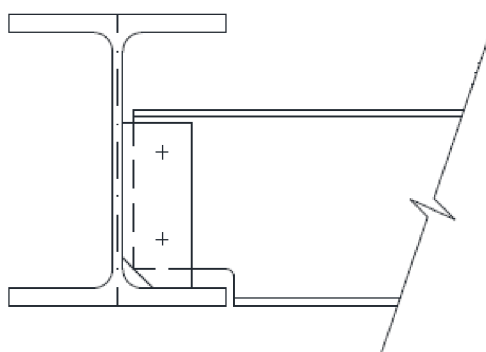
## 8 Detaily

V detaily A sa rieši pripojenie paždíka a stužidla na stĺp. Detail B je uloženie väzníka na stĺp a detail C je pripojenie diagonál, zvislice k hornému pásu.



Obr. 33: Vyznačenie riešených spojov

### 8.1 Detail A



Obr. 34: Pohľad na det. A zhora

### 8.1.1 Pripojenie pažďíka na stĺp

$$N_{Ed} = 30,17 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 10,58 \text{ kN}$$

#### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 5 \text{ mm}, 2 \times \text{M12 5.8}$$

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}, A_s = 84,3 \text{ mm}^2, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

#### Vzdialenosti k okrajom

$$e_1 = 2d_0 = 2 \times 13 = 26 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5d_0 = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 20 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3,5d_0 = 3,5 \times 13 = 45,5 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$p_2 = 3,0d_0 = 3,0 \times 13 = 39 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 40 \text{ mm}$$

#### Únosnosť v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} x A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 x 500 x 84,3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{30,17}{2} = 15,09 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = 15,09 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 20,23 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Únosnosť v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 x \alpha x f_u x A_s x d x t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 x 0,64 x 360 x 12 x 5}{1,25} = 27,69 \text{ kN}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{25}{3 \times 13}; \frac{50}{3 \times 13} - \frac{1}{4}; \frac{500}{360}; 1,0\right)$$

$$\alpha = \min(0,64; 1,03; 1,39; 1,0) = 0,64$$

$$k_1 = \min\left(2,8 x \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5; 1,4 x \frac{p_2}{d_0} - 1,7\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 x \frac{20}{13} - 1,7; 2,5; 1,4 x \frac{40}{13} - 1,7\right) = 2,5$$

$$F_{Ed,1} = 15,09 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 27,69 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posúdenie zvaru

$$a = 3 \text{ mm}, l = 100 \text{ mm}$$

$$F_{//} = 10,58 \text{ kN} \quad F_{\perp} = 30,17 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{\perp} x \cos 45}{a x l} = \frac{30,17 x 10^3 x}{3 x 100} = 71,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{//}}{a x l} = \frac{10,58 x 10^3}{3 x 100} = 35,27 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{71,11^2 + 3x71,11^2 + 3x35,27^2} = 154,79 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} x \beta_w} = \frac{360}{1,25 x 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 154,79 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$154,79 \text{ MPa} \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.1.2 Pripojenie stužidla na stĺp

$$N_{Ed} = 45,9 \text{ kN}$$

### Posúdenie zvaru

$$a = 3 \text{ mm}, l = 2 \times 200 \text{ mm}$$

$$F_{//} = N_{Ed} x \cos \alpha = 45,9 x \cos 50 = 29,5 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} x \sin \alpha = 45,9 x \sin 50 = 35,16 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{\perp} x \cos 45}{a x l} = \frac{29,5 x 10^3 x \cos 45}{3 x 200} = 34,77 \text{ MPa}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{//}}{a x l} = \frac{10,58 x 10^3}{3 x 200} = 58,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{34,77^2 + 3x34,77^2 + 3x58,6^2} = 123,04 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} x \beta_w} = \frac{360}{1,25 x 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 123,04 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$123,04 \text{ MPa} \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.1.3 Pripojenie stužidla na pažďík

$$N_{Ed} = 45,9 \text{ kN}$$

#### Posúdenie zvaru: stužidlo - plech

$$a = 3 \text{ mm}, l = 4 \times 40 \text{ mm}$$

$$F_{\parallel} = 10,58 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a \times l} = \frac{45,9 \times 10^3}{3 \times 160} = 95,63 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{0^2 + 3 \times 0^2 + 3 \times 95,63^2} = 165,64 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 165,64 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 5 \text{ mm}, 2 \times \text{M16 5.8}$$

$$d = 16 \text{ mm}, d_0 = 17 \text{ mm}, A_s = 157 \text{ mm}^2, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

#### Únosnosť v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 500 \times 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{45,9}{2} = 22,95 \text{ kN}$$

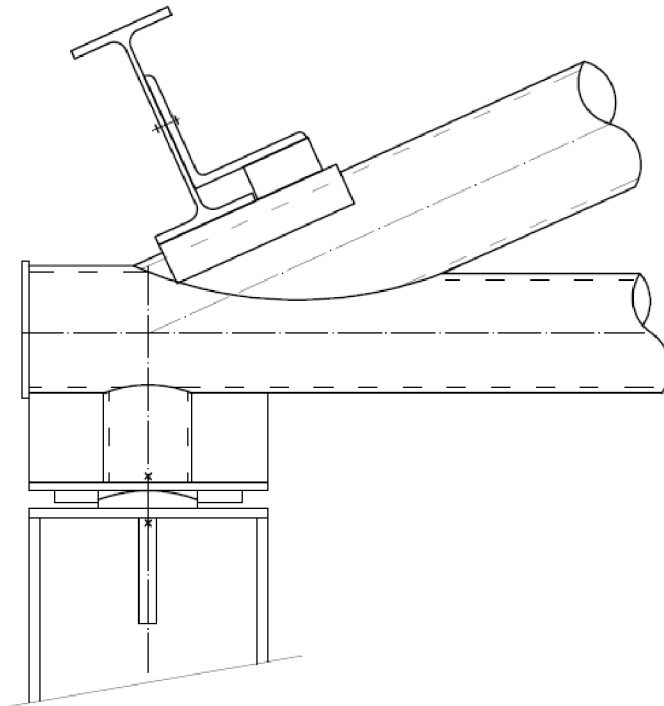
$$F_{Ed,1} = 22,95 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 37,68 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Únosnosť v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha \times f_u \times A_s \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,64 \times 360 \times 16 \times 5}{1,25} = 41,0 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = 22,95 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 41,0 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.2 Detail B



Obr. 35: Prípoj väzníka na stĺp

### 8.2.1 Uloženie väznice na väzník

$$N_{Ed} = 22,81 \text{ kN}$$

#### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 5 \text{ mm}, 2 \times \text{M12 5.8}$$

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}, A_s = 84,3 \text{ mm}, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

#### Únosnosť v ťahu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 500 \times 84,3}{1,25} = 30,34 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 22,81 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 30,34 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Únosnosť v pretlačení hlavy

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi f_u d_m t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \pi \times 360 \times 20,45 \times 5}{1,25} = 55,51 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 22,81 \text{ kN} \leq B_{p,Rd} = 55,51 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## Posúdenie zvaru podložky a plechu

$$a = 3 \text{ mm}, l = 2 \times 80 \text{ mm}$$

$$F_{//} = 22,81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{47,5}{\sqrt{2}} = 33,59 \text{ MPa}$$

$$\tau_w = \frac{F_{//}}{a \times l} = \frac{22,81 \times 10^3}{3 \times 160} = 47,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_w^2} = \sqrt{33,59^2 + 3 \times 33,59^2 + 3 \times 47,5^2} = 67,18 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 67,18 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$33,59 \text{ MPa} \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.2.2 Uloženie väzníka na stĺp

$$N_{Ed} = 56,37 \text{ kN}$$

### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 5 \text{ mm}, 2 \times \text{M12 5.8}$$

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}, A_s = 84,3 \text{ mm}^2, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

### Únosnosť v ťahu

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{56,37}{2} = 28,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 500 \times 84,3}{1,25} = 30,34 \text{ kN}$$

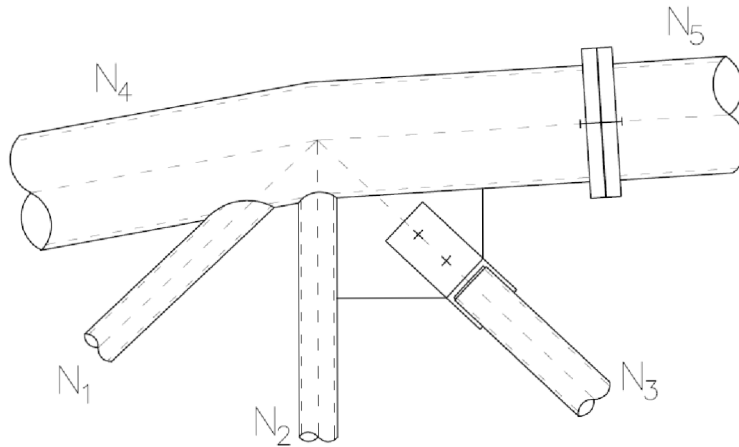
$$N_{Ed} = 28,2 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 30,34 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnosť v pretlačení hlavy

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times f_u \times d_m \times t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times \pi \times 360 \times 20,45 \times 5}{1,25} = 55,51 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 28,2 \text{ kN} \leq B_{p,Rd} = 55,51 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.3 Detail C



Obr. 36: Prípoj prutov a montážny spoj horného pásu

#### Vnútorne sily

$$N_1 = -7,21 \text{ kN}, \quad N_2 = 14,52 \text{ kN} \quad N_3 = 8,32 \text{ kN} \quad N_4 = 58,19 \text{ kN}$$

$$N_1 = 17,1 \text{ kN} \quad N_3 = -12,7 \text{ kN} \quad N_4 = -316,26 \text{ kN} \quad N_5 = -320,85 \text{ kN}$$

#### 8.3.1 Prípojenie diagonál a zvislice k hornému pásu

##### Overenie prierezov

Zvislica:

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{152,4} = 0,46 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{70}{5,4} = 12,96 \leq 50 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Diagonály:

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{70}{152,4} = 0,46 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{73}{7,1} = 10,3 \leq 50 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Dolný pás:

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{133}{6,3} = 21,1 \leq 50 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Diagonála 1

$$a = 3 \text{ mm}, l = 2\pi r = 2\pi \times 35 = 220 \text{ mm}$$

$$F_{//} = N_{Ed} \times \cos\alpha = 17,1 \times \cos 33 = 14,34 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} \times \sin\alpha = 17,1 \times \sin 33 = 9,31 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{15,52 \times 10^3}{\sqrt{2}} = 10,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{\perp}}{a \times l} = \frac{9,31 \times 10^3}{3 \times 220} = 15,52 \text{ MPa}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{//}}{a \times l} = \frac{14,34 \times 10^3}{3 \times 220} = 21,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{10,98^2 + 3 \times 10,98^2 + 3 \times 21,7^2} = 46,85 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 46,85 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Porušenie povrchu pásu

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin\alpha} \times \left(1,8 + 10,2 \times \frac{d_1}{d_0}\right) = \frac{1,95 \times 1 \times 235 \times 7,1^2}{\sin 33} \times \left(1,8 + 10,2 \times \frac{73}{152,4}\right) =$$

$$= 283,57 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 17,1 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{23,12}{235} = 0,1$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p \times (1 + n_p) = 0,963$$

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} = \frac{190}{152,4} = 1,247$$

$$N_{1,Rd} = 37,2 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 12,74 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Prelomenie šmykom

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \times t_0 \times \pi \times d_i \times \frac{1 + \sin\alpha}{2 \sin^2\alpha} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 0,0071 \times \pi \times 0,073 \times \frac{1 + \sin 33}{2 \sin^2 33} = 316,8 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 316,8 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 12,74 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$23,12 \times 0,005 \leq 2 \times 0,005 \times \frac{235}{\sqrt{3}}$$

$$0,12 \leq 1,36 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Zvislica

$$a = 3 \text{ mm}, l = 2\pi r = 2\pi \times 35 = 220 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_2 x \cos 45}{a \times l} = \frac{14,52 \times 10^3 x}{3 \times 220} = 15,56 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{15,56^2 + 3 \times 15,56^2 + 3 \times 0^2} = 31,12 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 31,12 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Diagonála 3

#### Vzdialenosti k okrajom

$$e_1 = 2d_0 = 2 \times 13 = 26 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5d_0 = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 20 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3,5d_0 = 3,5 \times 13 = 45,5 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 5 \text{ mm}, 2 \times \text{M12 5.8}$$

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}, A_s = 84,3 \text{ mm}^2, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

#### Únosnosť v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 500 \times 84,3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{12,74}{2} = 6,37 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = 6,37 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 20,23 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnost' v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha x f_u x A_s x d x t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 x 0,64 x 360 x 12 x 5}{1,25} = 27,69 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,1} = 6,37 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 27,69 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posúdenie zvaru: diagonála - plech

$$a = 3 \text{ mm}, l = 4 \times 40 \text{ mm}$$

$$F_{//} = 12,74 \text{ kN}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{//}}{a \times l} = \frac{12,74 \times 10^3}{3 \times 160} = 26,55 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{0^2 + 3 \times 0^2 + 3 \times 26,55^2} = 45,99 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} x \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 45,99 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posúdenie zvaru: horný pás – plech

$$a = 3 \text{ mm}, l = 190 \text{ mm}$$

$$F_{//} = N_{Ed} x \cos \alpha = 12,74 x \cos 46 = 8,85 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} x \sin \alpha = 12,74 x \sin 46 = 9,17 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{\perp} x \cos 45}{a \times l} = \frac{9,17 \times 10^3 x \cos 45}{3 \times 190} = 11,38 \text{ MPa}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{//}}{a \times l} = \frac{8,85 \times 10^3}{3 \times 190} = 15,53 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{11,38^2 + 3 \times 11,38^2 + 3 \times 15,53^2} = 35,24 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} x \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 35,24 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$11,38 \text{ MPa} \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Porušenie povrchu pásu

$$N_{3,Rd} = \frac{5k_p f_y t_0^2 x (1 + 0,25\eta)}{\gamma_{M5}} = \frac{5 \times 0,963 \times 235 \times 0,005^2 \times (1 + 0,25 \times 1,247)}{1,0} = 37,2 \text{ kN}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{23,12}{235} = 0,1$$

$$k_p = 1 - 0,3n_p x (1 + n_p) = 0,963$$

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} = \frac{190}{152,4} = 1,247$$

$$N_{3,Rd} = 37,2 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 12,74 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Prelomenie šmykom

$$\sigma_{max,t} = \left( \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl}} \right) x t_i \leq 2t_i \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$23,12 \times 0,005 \leq 2 \times 0,005 \times \frac{235}{\sqrt{3}}$$

$$0,12 \leq 1,36 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 8.3.2 Montážny spoj horného pásu

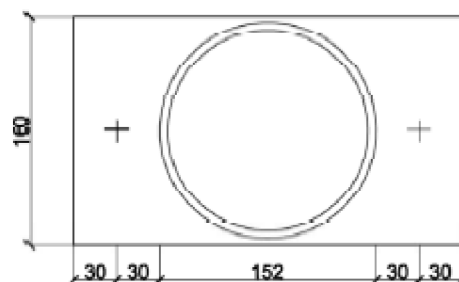
$$N_{Ed,c} = -320,85 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,t} = 42,88 \text{ kN}$$

### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 15 \text{ mm}, 2 \times \text{M12 5.8}$$

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}, A_s = 84,3 \text{ mm}, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$



Obr. 37: Schéma spoja horného pásu väzníka

### Únosnosť v ťahu

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{42,88}{2} = 21,44 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 500 \times 84,3}{1,25} = 30,35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 21,44 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 30,34 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnosť v pretlačení hlavy

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times f_u \times d_m \times t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times \pi \times 360 \times 25,9 \times 15}{1,25} = 210,9 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 210,9 \text{ kN} \leq F_{Ed,1} = 160,43 \text{ kN}$$

### Páčenie skrutky

$$t \leq t_c$$

$$4,3 \times \sqrt[3]{\frac{b \times d^2}{a}} = 4,3 \times \sqrt[3]{\frac{30 \times 20^2}{30}} = 31,68 > 20 \text{ mm}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \times \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \times \frac{31,68^3 - 15^3}{20^2} = 1,355$$

$$F_{Ed} = \gamma_p \times N_{Ed,t} = 1,355 \times 42,88 = 58,1 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 2 \times F_{t,Rd} = 2 \times 70,56 = 141,12 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 58,1 \text{ kN}$$

### 8.3.3 Montážny spoj dolného pásu

$$N_{Ed,t} = 314,51 \text{ kN}$$

#### Návrh plechu a skrutiek

$$t_p = 10 \text{ mm}, 6 \times \text{M16 5.8}$$

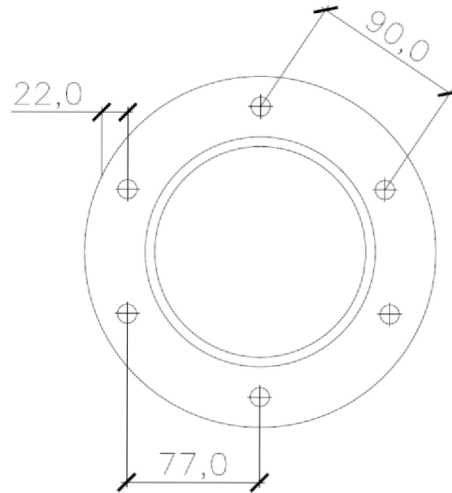
$$d = 16 \text{ mm}, d_0 = 18 \text{ mm}, A_s = 157 \text{ mm}^2, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

#### Vzdialenosti k okrajom

$$e_1 = 1,2d_0 = 1,2 \times 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 77 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 1,2 \times 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 22 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2d_0 = 2,2 \times 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 90 \text{ mm}$$



Obr. 38: Schéma spoja dolného pásu väznika

### Únosnosť v ťahu

$$F_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{314,51}{2} = 52,42 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 500 \times 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 52,42 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 56,52 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnosť v pretlačení hlavy

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times f_u \times d_m \times t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times \pi \times 360 \times 25,85 \times 10}{1,25} = 140,333 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 140,333 \text{ kN} \leq F_{Ed,1} = 52,42 \text{ kN}$$

### Posúdenie zvaru

$$a = 3 \text{ mm}, l = 2\pi r = 2\pi \times 66,5 = 417,8 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{250,91}{\sqrt{2}} = 177,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N}{a \times l} = \frac{314,51 \times 10^3}{3 \times 417,8} = 250,91 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{177,42^2 + 3 \times 177,42^2 + 3 \times 0^2} = 354,84 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \times \beta_w} = \frac{360}{1,25 \times 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 354,84 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_1 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$33,59 \text{ MPa} \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 9 Kotvenie stĺpu

Kombinácia pre max ťahovú silu N

$$N_{\max} = 70,16 \text{ kN} \quad V = -28,99 \text{ kN} \quad M = 11,0 \text{ kNm}$$

Kombinácia pre max tlakovú silu N

$$N_{\max} = -195,84 \text{ kN} \quad V = -0,11 \text{ kN} \quad M = 0,87 \text{ kNm}$$

Kombinácia pre max posúvajúcu silu V

$$N = -38,09 \text{ kN} \quad V_{\max} = -37,97 \text{ kN} \quad M = 123,46 \text{ kNm}$$

Kombinácia pre max ohybový moment M

$$N = -38,09 \text{ kN} \quad V = -37,97 \text{ kN} \quad M_{\max} = 123,46 \text{ kNm}$$

Podliatie:

$$t = 40 \text{ mm}$$

C16/20

$$\begin{array}{llll} \text{Návrh pätného plechu:} & t_p = 30 \text{ mm} & b_p = 700 \text{ mm} & h_p = 400 \text{ mm} \\ & f_{yp} = 235 \text{ MPa} & f_u = 360 \text{ MPa} & \end{array}$$

Návrh základovej pätky: 1000 x 1000 x 80

**Kotevné skrutky: Ø24**

$$A = 4,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad f_{yb} = 640 \text{ MPa} \quad d = 24 \text{ mm}$$

$$A_s = 3,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad f_{ub} = 800 \text{ MPa} \quad d_0 = 64 \text{ mm}$$

**Navrhujem => 4 x Ø24 8.8**

Minimálne rozteče:

$$e_1 = 1,2d_0 = 77 \text{ mm} \quad p_1 = 2,2d_0 = 141 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 77 \text{ mm} \quad p_2 = 2,4d_0 = 154 \text{ mm}$$

$$\text{Navrhujem => } e_1 = e_2 = 100 \text{ mm}$$

$$p_1 = p_2 = 600 \text{ mm}$$

## 9.1 Návrhová únosnosť ťahanej časti

Náhradná dĺžka T – prierezu

$$L_{\text{eff},1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m = 2\pi \times 100 = 628 \text{ mm} \\ \pi m + 2e_b = \pi \times 100 + 2 \times 100 = 514 \text{ mm} \\ \pi m + p = \pi \times 100 + 700 = 1014 \text{ mm} \\ 4m + 1,25e_b = 4 \times 100 + 1,25 \times 100 = 525 \text{ mm} \\ 2m + 0,625e_a + e_b = 2 \times 100 + 0,625 \times 100 + 100 = 363 \text{ mm} \\ b/2 = 700/2 = 350 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$L_{\text{eff},1} = 350 \text{ mm}$$

Účinná dĺžka kotviacich skrutiek

$$L_{b,\text{eff}} = 8d + t_g + t + t_n/2 = 8 \times 24 + 40 + 40 + 24/2 = 284 \text{ mm}$$

Hrúbka pätného plechu

$$t_p = \sqrt[3]{\frac{6e_a m^2 A_s}{L_{b,\text{eff}} L_{\text{eff},1}}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 100 \times 100^2 \times 353}{284 \times 350}} = 27,72 \text{ mm}$$

### 9.1.1 Únosnosť konzoly pätného plechu s dvoma skrutkami

$$F_{t,Rd} = 2 \times \frac{L_{\text{eff},1} t^2 f_y}{4 m \gamma_{M0}} = 2 \times \frac{0,35 \times 0,03^2 \times 235 \times 10^6}{4 \times 0,1 \times 1,0} = 370,125 \text{ kN}$$

### 9.1.2 Únosnosť dvoch kotviacich skrutiek M24

$$F_{t,Rd} = 2 \times \frac{F_{yb} A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \times \frac{640 \times 10^6 \times 3,53 \times 10^{-4}}{1,25} = 361,47 \text{ kN} \geq N_{\text{max},t} = 70,16 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 361,47 \text{ kN} \geq N_{\text{max},t} = 70,16 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 9.2 Tlačená časť pätky

$$a_1 = b_1 = 1100 \text{ mm}$$

$$a = b = 800 \text{ mm}$$



$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1000^2}{700 \times 400}} = 1,89$$

### 9.2.1 Návrhová pevnosť betonu

$$f_{jd} = \frac{0,67 k_j f_{cb}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \times 1,89 \times 16}{1,5} = 13,51 \text{ MPa}$$

### 9.2.2 Určenie efektívnej plochy pätky

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}} = 0,03 \sqrt{\frac{235 \times 10^6}{3 \times 13,51 \times 10^6 \times 1,0}} = 0,75 \text{ m}$$

$$A_{\text{eff}} = \min(b; b_c + 2c) \times \min(a; h_c + 2c) - \max(\min(b; b_c + 2c) - t_w - 2c; 0) \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0)$$

$$A_{\text{eff}} = \min(400; 240 + 2 \times 75) \times \min(600; 230 + 2 \times 75) - \max(\min(400; 240 + 2 \times 75) - 7,5 - 2 \times 75; 0) \times \max(230 - 2 \times 12 - 2 \times 75; 0) = \min(400; 390) \times \min(600; 380) - \max(\min(400; 390) - 7,5 - 2 \times 75; 0) \times \max(56; 0) = 390 \times 380 - 232,5 \times 56 = 135\,180 \text{ mm}^2$$

Šírka účinnej plochy

$$b_{\text{eff}} = \frac{A_{\text{eff}}}{h_c + 2c} = \frac{135\,180}{230 + 2 \times 75} = 356 \text{ mm}$$

Rameno sily v betone k ose stĺpu

$$r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{\text{eff}}}{2} = \frac{230}{2} + 75 - \frac{356}{2} = 12 \text{ mm}$$

$$r_b = 300 \text{ mm}$$

### 9.2.3 Momentová únosnosť pätky stĺpu

$$M_{Rd} = F_{t,Rd} \times r_b + A_{\text{eff}} \times f_{jd} \times r_c = 361,47 \times 10^3 \times 0,3 + 0,1352 \times 13,51 \times 10^6 \times 0,012$$

$$M_{Rd} = 130,36 \text{ kNm} > M_{Ed} = 123,46 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.2.4 Návrhová únosnosť tlačenej pätky

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \times f_{jd} = 0,1352 \times 13,51 \times 10^6 = 1826,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1826,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 195,84 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.2.5 Posudok pätného plechu na tlakové namahnie

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{195,84 \times 10^3}{0,1352} = 1,45 \text{ MPa} \leq f_{jd} = 13,51 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.2.6 Prenos posúvajúcej sily

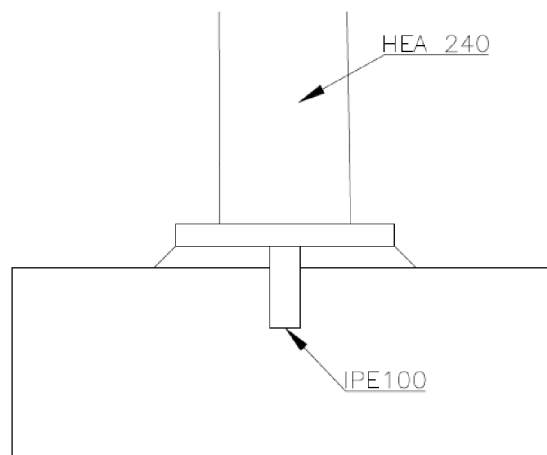
$$V_{Rd} = c_{fd} N_{Ed} = 0,2 \times 38,09 = 7,62 \leq V_{Ed} = 37,97 \text{ kN} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

### Úpalok z IPE100

$$h_{min} = \frac{V_{Ed}}{l x f_{cd}} = \frac{37,97}{0,1 \times 10,67 \times 10^6} = 0,036 \text{ m}$$

$$h = 40 + h_{min} = 40 + 36 = 76 \text{ mm}$$

Navrhujem úpalok IPE100, h= 100 mm



Obr. 39 Umiestnenie úpalku IPE 100

### 9.2.7 Posúdenie kotviacich skrutiek 4x Ø24 8.8

$A = 4,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$	$d = 24 \text{ mm}$
$A_s = 3,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$	$d_0 = 64 \text{ mm}$

### Návrhová únosnosť 1 skrutky v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6x f_{ub} x A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6x 800x 10^6 x 4,52x 10^{-4}}{1,25} = 173,6 kN$$

$$F_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{37,97}{4} = 9,49 kN$$

$$F_{Ed} = 9,49 kN \leq F_{v,Rd} = 173,6 kN \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Návrhová únosnosť 1 skrutky v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 x \alpha x f_u x A_s x d x t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5x 0,52x 360x 24x 4}{1,25} = 359,4 kN$$

$$F_{Ed,1} = 9,49 kN \leq F_{b,Rd} = 359,4 kN \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Návrhová únosnosť 1 skrutky v ťahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9x f_{ub} x A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9x 800x 10^6 x 3,53x 10^{-4}}{1,25} = 203,3 kN$$

$$F_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{70,16}{4} = 17,6 kN$$

$$F_{Ed} = 17,6 kN \leq F_{v,Rd} = 203,3 kN \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 9.2.8 Posudok zvaru dosky a stípu

$$a = 5 \text{ mm}, \quad l = 416 \text{ mm}$$

Stojina:

$$\tau_{//} = \frac{V_{Ed}}{a x l} = \frac{0,11x 10^3}{5x 417} = 0,05 MPa$$

Pásnica:

$$a = 5 \text{ mm}, \quad l = 416 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a x l x \sqrt{2}} = \frac{195,84}{5x 470x \sqrt{2}} = 58,93 MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} = \sqrt{58,93^2 + 3x 58,93^2 + 3x 0,05^2} = 117,86 MPa$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} x \beta_w} = \frac{360}{1,25x 0,8} = 360 MPa \geq 117,86 MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Schematický pôdorys .....	2
Obr. 2: Schematický priečny rez .....	3
Obr. 3: Schematická čelná stena.....	3
Obr. 4: Axonometria.....	4
Obr. 5: Roznos od strešného plášťa na väznice.....	6
Obr. 6: Mapa snehových oblastí ČR s vyznačením výstavby .....	7
Obr. 7: Tvarové súčinitele zaťaženia snehom .....	7
Obr. 8: Roznos plného snehu na väznice.....	8
Obr. 9: Roznos snehu naviateho vľavo.....	9
Obr. 10: Roznos snehu naviateho vpravo .....	9
Obr. 11: Mapa veterných oblastí ČR s vyznačením výstavby.....	10
Obr. 12: Zaťaženie od pozdĺžneho vetra na pozdĺžne a čelné steny .....	12
Obr. 13: Schéma zaťaženia paždíkov od pozdĺžneho vetra.....	12
Obr. 14: Zaťaženie od pozdĺžneho vetra na strechu .....	13
Obr. 15: Schéma zaťaženia väzníc od pozdĺžneho vetra.....	14
Obr. 16: Taťaženie od priečneho vetra na čelné a bočné steny .....	16
Obr. 17: Schéma zaťaženia paždíkov od priečneho vetra .....	17
Obr. 18: Schéma pôsobenia vetra na strechu.....	18
Obr. 19: Súčinitele vonkajšieho tlaku pre valcovú strechu .....	18
Obr. 20: Kľúč kombinácii z programu .....	20
Obr. 21: Zaťaženie plným snehom .....	21
Obr. 22: TR Ø 152,4 X 5 .....	22
Obr. 23: TR Ø 133 X 6,3 .....	25

Obr. 24: IPE 240.....	29
Obr. 25: HEA 240.....	31
Obr. 26: TR Ø 60,3 X 8.....	34
Obr. 27: Maximálny priehyb väznice $\delta_{\max,y}$ .....	37
Obr. 28: Maximálny priehyb väznice $\delta_{\max,z}$ .....	37
Obr. 29: Maximálny priehyb väznice $\delta_{\max,z}$ .....	38
Obr. 30: Maximálny priehyb väznice $\delta_{\max,y}$ .....	39
Obr. 31 Maximálny priehyb väznice $\delta_{\max,z}$ .....	39
Obr. 32: Maximálne priehyby čelných stĺpov .....	40
Obr. 33: Vyznačenie riešených spojov .....	41
Obr. 34: Pohľad na det. A zhora.....	41
Obr. 35: Prípoj väzníka na stĺp .....	45
Obr. 36: Prípoj prutov a montážny spoj horného pasu .....	47
Obr. 37: Schéma spoja horného pásu väzníka.....	51
Obr. 38: Schéma spoja dolného pásu väzníka .....	53
Obr. 40 Umiestnenie úpalku IPE 100.....	58

## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Zaťaženie naviatym snehom vľavo .....	9
Tab. 2: Zaťaženie naviatym snehom vpravo .....	10
Tab. 3: Zaťaženie od pozdĺžneho vetra na paždíky čelnej a pozdĺžnej steny .....	13
Tab. 4: Zaťaženie od pozdĺžneho vetra na väznice .....	15
Tab. 5: Zaťaženie od priečneho vetra na paždíky .....	17
Tab. 6: Zaťaženie od priečneho vetra na väznice .....	19